

## КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ – ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Тип статьи: научная, оригинальная

<https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.113.3-4>

## CORROSION AND CORROSION PROTECTION – GENERAL ISSUES

Articale type: original

### Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора NaCl

И.Н. Ганиев<sup>✉</sup>, С.С. Савдуллоева, С.У. Худойбердизода<sup>✉</sup>, Дж.Х. Джайлоев

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

e-mail: ganievizatullo48@gmail.com; saidmir010992@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты потенциостатического исследования алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора  $NaCl$  с концентрацией 0,03; 0,3 и 3,0 масс. %, при скорости развертки потенциала 2 мВ/с. Добавка лантана к алюминиевому сплаву AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин составляла 0,01...1,0 масс. %. Показано, что легирование лантаном указанного сплава снижает скорость его коррозии на 8...13%, что сопровождается сдвигом электрохимических потенциалов в область положительных значений. Рост концентрации  $NaCl$  в водном растворе способствует увеличению скорости коррозии сплавов, независимо от их состава, и смещению электрохимических потенциалов в отрицательном направлении.

**Ключевые слова:** потенциостатический метод, алюминиевый сплав AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин, лантан, электрохимическое поведение, водный раствор  $NaCl$ , скорость коррозии, потенциал свободной коррозии

**Для цитирования:** Ганиев И.Н., Савдуллоева С.С., Худойбердизода С.У., Хусейнович Дж.Х. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора  $NaCl$  // Практика противокоррозионной защиты. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 41-49. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.113.3-4>

Статья получена 25.04.2024. Принята к публикации 11.08.2024. Опубликована 01.09.2024.

### Potentiostatic Study of Aluminum Alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 Type Duralumine with Lanthanum in an Aqueous Solution of NaCl

Izatullo N. Ganiev<sup>✉</sup>, Salima S. Savdulloeva, Saidmiri U. Khudoiberdizoda<sup>✉</sup>,  
Jamshed H. Dzhayloev

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

e-mail: ganievizatullo48@gmail.com; saidmir010992@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of a potentiostatic study of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin with lanthanum in an aqueous solution of  $NaCl$  with a concentration of 0.03; 0.3 and 3.0 wt. %, at a potential sweep rate of 2 mV/s. The addition of lanthanum to the aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 of the duralumin type was 0.01...1.0 wt. %. It has been shown that doping the specified alloy with lanthanum reduces its corrosion rate by 8...13%, which is accompanied by a shift of electrochemical potentials to the region of positive values. An increase in the concentration of  $NaCl$  in an aqueous solution contributes to an increase in the corrosion rate of alloys, regardless of their composition, and a shift of electrochemical potentials in the negative direction of the ordinate axis.

**Keywords:** potentiostatic method, AlMg5.5Li2.1Zr0.15 aluminum alloy of the duralumin type, lanthanum, electrochemical behavior,  $NaCl$  aqueous solution, corrosion rate, free corrosion potential

**For citation:** Ganiev, I. N., Savdulloeva, S. S., Khudoiberdizoda, S. U., & Dzhayloev, J. H. (2024). Potentiostatic Study of Aluminum Alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 Type Duralumine with Lanthanum in an Aqueous Solution of  $NaCl$ . *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 29(3), 41-49. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.113.3-4>

Received 25 April, 2024. Accepted for publication August 11, 2024. Published September 01, 2024.

## Введение

Проблема снижения металлоемкости машин, приборов, механизмов и других изделий в последние годы приобрела первостепенное значение. Для решения этой проблемы важнейшим является максимальное расширение области применения алюминиевых сплавов.

Примеры применения алюминиевых сплавов в электротехнике, машиностроении, строительстве, быту многообразны. Известно, однако, что коррозия металлов сопутствует техническому их применению и причиняет хозяйству огромные убытки. Хотя за последние десятилетия потери металлов от коррозии резко сократились в результате выявления различных причин ее и изучения методов борьбы с ней, тем не менее потери все еще недопустимо велики [1].

Для борьбы с коррозией затрачиваются колоссальные средства – на ремонт поврежденного оборудования, защитные покрытия на металле, увеличение припусков при проектировании металлических конструкций, на более дорогие высоколегированные сплавы. С коррозией связаны также большие косвенные расходы, вызванные остановками и авариями оборудования и др., вред коррозии многообразен: помимо выхода из строя машин, аппаратов, станков, приборов и других изделий, ухудшаются технические свойства эксплуатирующихся изделий – пластичность, твердость, прочность и т.д. Условия, в которых работают металлические изделия в ряде современных отраслей техники, а именно: высокие температуры и давления, переменные нагрузки, агрессивные среды и т.п., особенно благоприятствуют коррозионным процессам и вынуждают применять различные методы борьбы с ними.

Таким образом, защита металлов от коррозионного разрушения и создание новых коррозионностойких сплавов имеют огромное народнохозяйственное значение. Успешное развитие техники неразрывно связано с необходимостью изыскания новых конструкционных материалов повышенной коррозионной стойкости и усовершенствования методов защиты от коррозии [2].

В последние годы находит широкое применение большая группа коррозионностойких, самозакаливающихся свариваемых алюминиевых сплавов. Использова-

ние этих сплавов для производства литых и литьо-сварных конструкций, работающих во всех климатических условиях, требует систематического ознакомления с последними достижениями в области разработки и производства новых сплавов, методами испытания их на коррозионную стойкость и коррозию под напряжением в различных средах. Такие данные в литературе практические отсутствуют, а опубликованные в специальных изданиях сведения носят разрозненный характер [3].

Дюралюмины хорошо деформируются и в горячем, и в холодном состояниях: для их упрочнения обычно применяют закалку в воде и естественное старение. Наибольшее упрочнение достигается в течение первых суток после закалки и практически заканчивается в течение пяти суток. Наиболее прочные алюминиевые сплавы – сплавы типа В95, содержащие 6% Zn, 2,3% Mg, 1,7% Cu, 0,4% Mn, 0,2% Cr. Но, применяя их, следует иметь в виду, что эти сплавы еще менее коррозионностойки, чем дюралюмины, и не пригодны для работы при температурах выше 150 °C, так как их прочностные характеристики сильно понижаются при повышенной температуре. Известно много других сложных деформируемых сплавов для ковки, штамповки и работы при повышенных температурах: АК4, АК6, АК8, АК4-1 [4-6].

К сплавам системы  $Al - Mg$  относится большая группа широко используемых в промышленности сплавов: АМг0,5; АМг1; АМг3; АМг4; АМг5; АМг6. Из них изготавливают почти все виды полуфабрикатов: листы, плиты, поковки, штамповки, прессованные изделия (прутки, профили, панели, трубы) и проволоку. Все сплавы рассматриваемой группы хорошо свариваются всеми видами сварки. Для сплавов системы  $Al - Mg$  электрохимические факторы в коррозионном растрескивании играют значительно большую роль, чем для сплавов других систем. Поэтому предотвращение образования пленки  $\beta$ -фазы по границам зерен целесообразно и для повышения сопротивления  $KP$  (коррозионное растрескивание). В производственных условиях именно такой способ повышения сопротивления  $KP$  среднелегированных магниев нашел широкое распространение [7-9].

Благодаря сочетанию низкой плотности,

высокого модуля упругости, коррозионной стойкости и хорошей свариваемости применение сплавов системы *Al-Mg-Li* в аэрокосмической технике непрерывно расширяется [10-12].

При исследовании коррозии условия эксплуатации можно моделировать на образцах металлов с учётом значимых факторов (лабораторные испытания), деталях и узлах на коррозионно-климатических станциях или микологических площадках на опытных образцах техники (испытания в природных условиях). Испытания могут быть длительными и ускоренными. К ускоренным методам коррозионных исследований относится потенциостатический метод [13-16].

Целью настоящей работы является потенциостатическое исследование анондного поведения алюминиевого сплава *AlMg5.5Li2.1Zr0.15* (*Al* + 5,5 масс.% *Mg* + 2,1 масс.% *Li* + 0,15 масс.% *Zr*) типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора *NaCl*, как имитатора морской среды. Согласно существующему ГОСТу 9.017-74 «Единая система защиты от коррозии и старения», электрохимические исследования сплавов в лабораторных условиях проводятся в среде 3%-ого водного раствора *NaCl*. Это нейтральная среда, приближенная к морской воде.

### Материалы и методика исследования

Сплавы для исследования получали из алюминия марки А 5 (ГОСТ Р 57434-2017), магния металлического (ГОСТ 804-93), лития металлического (ГОСТ 8775.0-87), циркония металлического (ГОСТ 25278.10-82), и лантана металлического (ГОСТ 23862.5-79). В шахтных лабораторных печах типа СШОЛ предварительно синтезировали лигатуры алюминия с 2,0 масс.% циркония и с 10 масс.% лантаном. Шихтовку сплавов проводили с учётом угара лантана, магния и лития. Химический анализ основных компонентов сплава проводился в Центральной заводской лаборатории ОАО «ТАлКО», (г. Турсунзаде, Республика Таджикистан). Исследованиям подвергали сплавы массы которых отличался от массы шихты не более чем на 2% отн. В графитовой изложнице из полученных сплавов отливали цилиндрические образцы диаметром 8 мм, длиной 140 мм.

Электрохимические исследования проводились потенциостатическим методом в

потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50.1.1, при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с. Сигнал от прибора передавался на программатор ПР-8 и сохранялся на ЛКД-4. Исследования проводили в среде водного раствора *NaCl* различной концентрации. Образцы сплавов перед началом электрохимических измерений выдерживались до достижения стационарного потенциала или потенциала свободной коррозии  $E_{\text{св.кор.}}$ , значения которого устанавливается по зависимости потенциал ( $E$ , В) – время ( $t$ , мин.) в течение 1-го часа выдержки в растворе хлорида натрия. Установившиеся значения  $E_{\text{св.кор.}}$  сплавов подтверждается более длительной выдержкой в течение 1...3 сут.

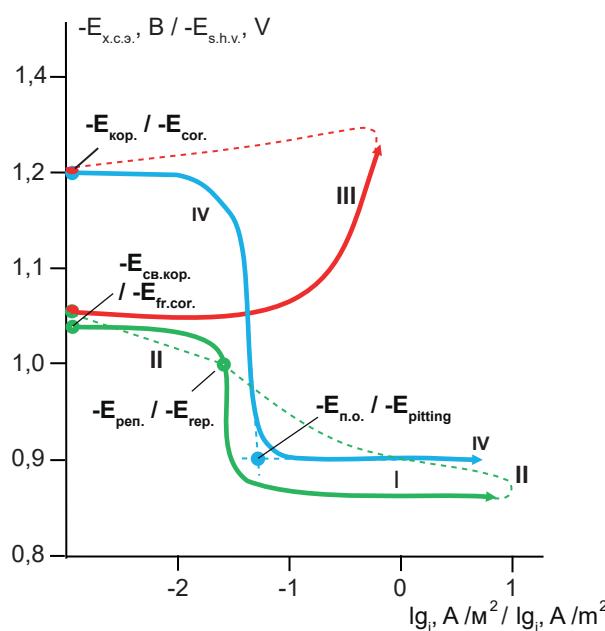
При электрохимических исследованиях образцы поляризовали в положительном направлении, исходя от потенциала, установленного (потенциал свободной коррозии или стационарного  $E_{\text{св.кор.}}$ ), до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока до  $-lg_i = 1 \text{ A/m}^2$  (рис. 1, кривая I). Образцы далее поляризовали в обратном направлении (до значения потенциала  $-1,2\text{ В}$ ) (рис. 1, кривые II и III), что позволило подщелачивать приэлектродный слой образца и снять оксидную плёнку с поверхности электрода. Затем, образцы снова поляризовали в положительном направлении (рис. 1, кривая IV). При таком переходе фиксируется потенциал питтингообразования ( $E_{\text{п.о.}}$ ).

Основные электрохимические характеристики сплавов определяли из вышеописанных потенциодинамических кривых, т.е. потенциалы коррозии ( $E_{\text{кор.}}$ ), питтингообразования ( $E_{\text{п.о.}}$ ) и репассивации ( $E_{\text{рн.}}$ ).

По ходу прохождения полной поляриационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

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

Плотность тока рассчитывался из тафелевых участков катодной кривой, имеющей угол наклона  $b = 0,12$ . Скорость коррозии, являющаяся функцией тока коррозии, определялась по формуле:



$$K = i_{\text{кор.}} \cdot k,$$

где  $k$  – электрохимический эквивалент алюминия, среднее значение которого составляет 0,335 г/А·ч. В работах [17-19] описана подробная методика исследования анодного поведения сплавов.

Результаты электрохимических исследований легированного лантаном алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюминий, представлены на рис. 2-4

Рис. 1. Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюминий в среде водного раствора 3,0% NaCl

Fig. 1. Full polarization (2 mV/s) curve of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin, in an aqueous solution of 3.0% NaCl

Таблица. Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном, в среде водного раствора NaCl

Table. Corrosion-electrochemical characteristics of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin with lanthanum, in an aqueous solution of NaCl

Среда NaCl / medium NaCl	Содержание лантана в сплаве / Lanthanum content in alloy	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.) / Electrochemical potentials, V (c.s.e.)				Скорость коррозии / Corrosion rate	
	масс. % / wett. %	$-E_{\text{cev.kop.}} / -E_{\text{fr.cor.}}$	$-E_{\text{коп.}} / -E_{\text{cor.}}$	$-E_{\text{n.o.}} / -E_{\text{pit}}$	$-E_{\text{pn}} / -E_{\text{rep}}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{ A/m}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/(м}^2\cdot\text{ч)} / K \cdot 10^3, \text{ g/(m}^2\cdot\text{h)}$
0,03	0,0	0,790	1,000	0,670	0,740	7,1	23,78
	0,01	0,760	0,973	0,647	0,718	6,8	22,78
	0,1	0,750	0,964	0,638	0,709	6,6	22,11
	0,5	0,739	0,955	0,629	0,699	6,4	21,44
	1,0	0,728	0,945	0,620	0,690	6,2	20,77
0,3	0,0	0,900	1,070	0,780	0,870	9,0	30,15
	0,01	0,875	1,038	0,753	0,838	8,7	29,14
	0,1	0,863	1,029	0,744	0,828	8,5	28,47
	0,5	0,852	1,019	0,734	0,819	8,3	27,80
	1,0	0,840	1,010	0,725	0,810	8,1	27,13
3,0	0,0	1,043	1,200	0,900	1,000	10,9	36,51
	0,01	1,011	1,172	0,873	0,977	10,6	35,51
	0,1	1,000	1,161	0,864	0,968	10,4	34,84
	0,5	0,988	1,150	0,854	0,959	10,2	34,17
	1,0	0,977	1,139	0,845	0,950	10,0	33,50

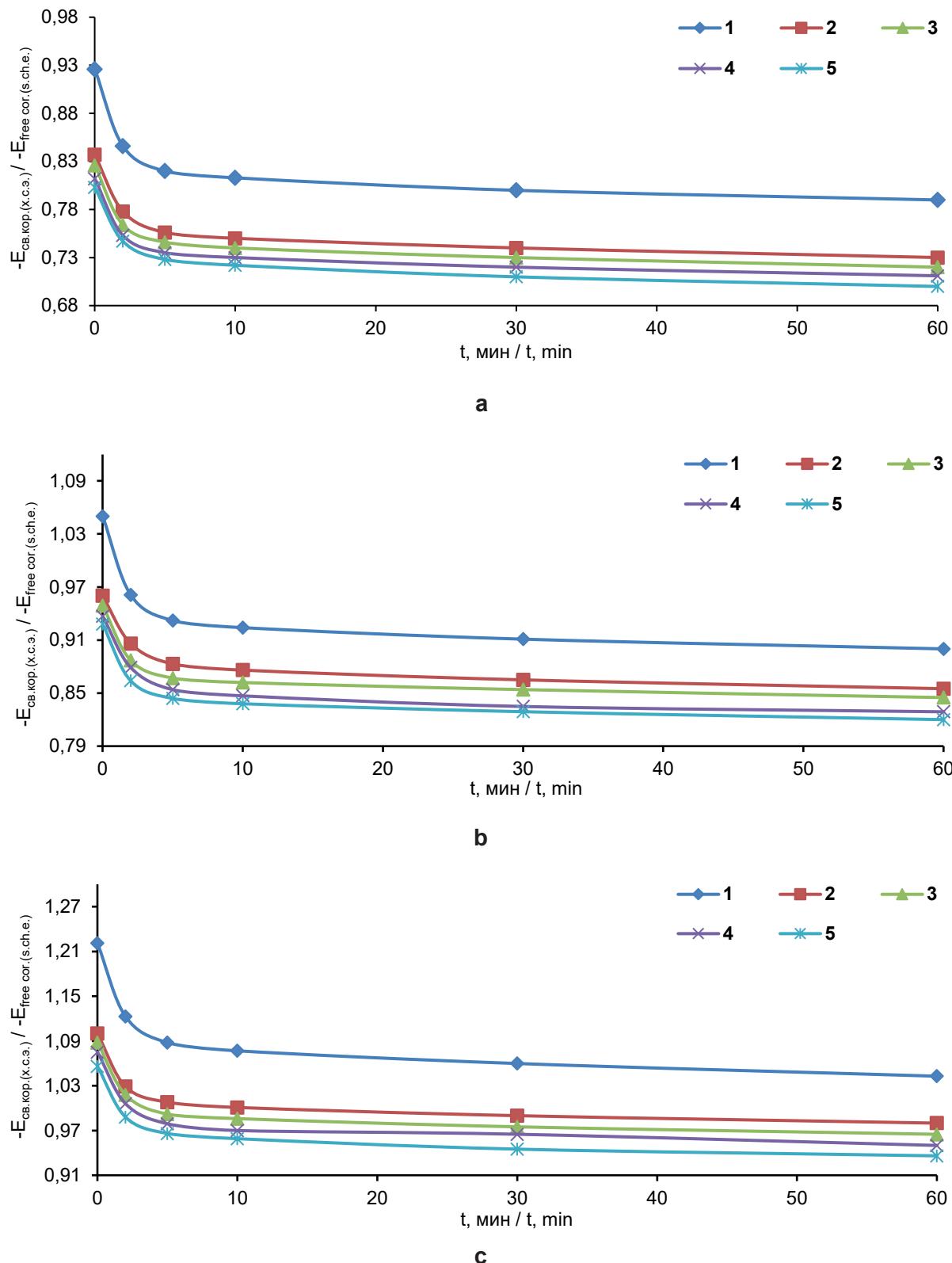


Рис. 2. Временная зависимость потенциала свободной коррозии ( $-E_{\text{св.кор.}}$ , В) алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном, масс. %: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5) в среде водного раствора 0,03% (а), 0,3% (б) и 3,0% (с)  $NaCl$

Fig. 2. Time dependence of the free corrosion potential ( $-E_{\text{fr.cor.}}$ , V) of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin with lanthanum, wt. %: 0.05(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) in an aqueous solution of 0.03% (a), 0.3% (b) and 3.0% (c)  $NaCl$

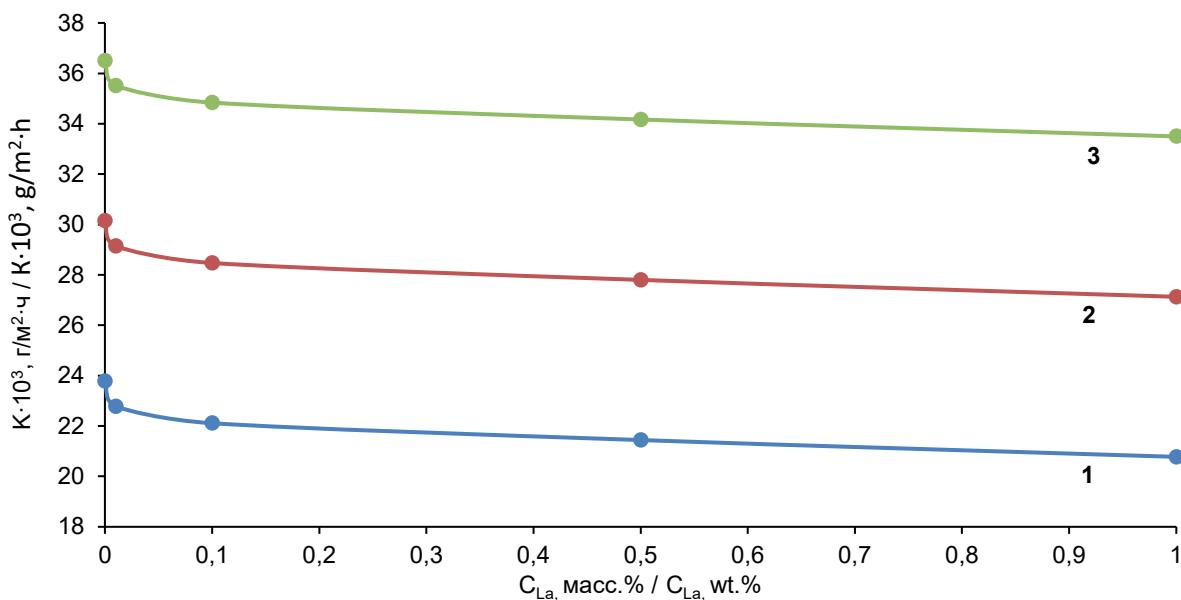


Рис. 3. Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора 0,03% (1); 0,3% (2); и 3,0% (3)  $NaCl$

Fig. 3. Dependence of the corrosion rate of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin with lanthanum in an aqueous solution of 0.03% (1); 0.3% (2); and 3.0% (3)  $NaCl$

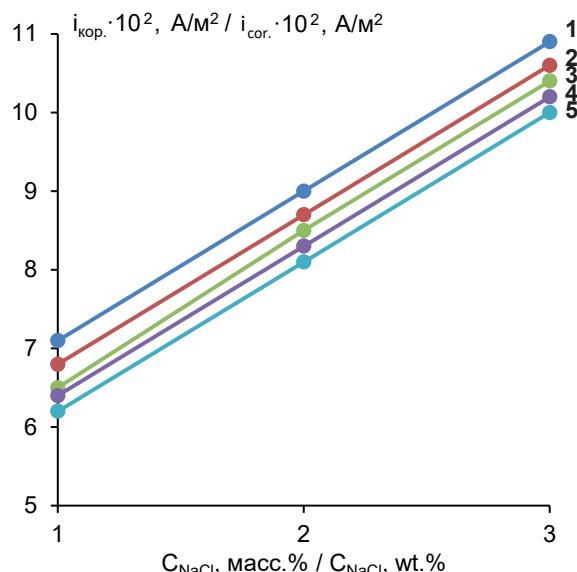


Рис. 4. Зависимость плотности анонного тока алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин (1), содержащего лантан, масс. %: 0,01(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5) от концентрации  $NaCl$

Fig. 4. Dependence of the anodic current density of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin (1), containing lanthanum, wt. %: 0.01(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) from  $NaCl$  concentration

и в табл. Видно, что по мере разбавления водного раствора  $NaCl$ ,  $E_{cv,кор.}$  смещается в область положительных значений, особенно в первые 5...10 минут от начала погружения электрода в раствор. Стабилизация  $E_{cv,кор.}$  происходит после 20...40 минут от начала погружения электрода в раствор. Данная зависимость свидетельствует о пассивации поверхности образца в результате формирования защитной оксидной плёнки. Например, после одного часа выдержки в водном растворе 0,03 %  $NaCl$   $E_{cv,кор.}$  нелегированного сплава составляет -0,790 В, а у сплава, содержащего 1,0 масс. % лантана  $E_{cv,кор.}$  равняется -0,728 В.

Результаты исследования коррозионно-электрохимических исследований алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15% типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора  $NaCl$  с концентрацией 0,03; 0,3 и 3,0 масс. %, обобщены в табл. Как видно, с увеличением содержания лантана в сплаве AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин, потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений, т.е. легирование лантаном алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 снижает его скорость

коррозии на 8...13%.

На рис. 3 представлен графическая зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин от содержания лантана в нём в среде водного раствора  $NaCl$  различной концентрации. Добавка лантана во всех изученных средах способствует снижению скорости коррозии исходного алюминиевого сплава.

Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюминий с лантаном показан на рис. 4. Легирование лантаном снижает величину плотности тока коррозии исходного сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин. С ростом концентрации хлорид-иона в водном растворе  $NaCl$  наблюдается рост плотности тока коррозии сплавов независимо от содержания лантана в них.

### Выводы

1. С ростом концентрации лантана в алюминиевом сплаве AlMg5.5Li2.1Zr0.15 потенциал свободной коррозии смещается в положительном направлении. При переходе от слабого к сильному водному раствору  $NaCl$  наблюдается уменьшение величины потенциала свободной коррозии независимо от содержания легирующего компонента.

2. Рост концентрации легирующего компонента (лантана) в сплаве AlMg5.5Li2.1Zr0.15 способствует увеличению величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации водного раствора  $NaCl$ .

3. С ростом концентрации водного раствора  $NaCl$  увеличивается плотность тока коррозии и, соответственно, скорость коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин с лантаном.

4. Установлено, что коррозионная устойчивость повышается на 8...13%, при легировании лантаном до 1.0 масс. % алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин, в среде водного раствора  $NaCl$ .

5. Изменения всех вышеуказанных электрохимических показателей процесса коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дюралюмин объясняется ростом степени гетерогенности структуры сплава при его легировании лантаном.

### Литература

- Постников Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы. – Москва: Металлургия, 1976. – 300 с.
- Лужникова Л.П. Материалы в машиностроении, Т.1. Цветные металлы и сплавы. – М.: «Машиностроение», 1967. – 287 с.
- Тарасенко Л.В., Колобнев Н.И., Хохлатаева Л.Б. Фазовый состав и механические свойства сплавов системы Al - Mg - Li - Me // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2008. – № 2. – С. 40-43.
- Фридляндер И.Н. Современные алюминиевые, магниевые сплавы и композиционные материалы на их основе // Металловедение и терм. обр. металлов. – 2002. – № 7. – С. 24-29.
- Фридляндер И.Н., Колобнев Н.И., Хохлатаева Л.Б. и др. // Труды 7-ой Международной конференции по алюминиевым сплавам (ICAA-7). – 2000. – Т. 3. – С. 1393-1397.
- Антипов В.В., Лавров Н.А., Сухоиваненко В.В., Сенаторова О.Г. Опыт применения Al-Li-сплава 1441 и сплоистых материалов на его основе в гидросамолётах // Цветные металлы. – 2013. – № 9. – С. 46-50.
- Синявский В.С., Вальков В.Д., Калинин В.Д. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. – Москва: Металлургия, 1986. – С.155-165.
- Прач Е.Л., Михайленков К.В. Разработка нового литейного сплава системы Al-Mg-Si-Mn с добавкой лития // Литейное производство. – 2014. – № 7. – С. 13-15.
- Шеметев Г.Ф. Алюминиевые сплавы: составы, свойства, применение. Учебное пособие по курсу «Производство отливок из сплавов цветных металлов». Часть I (Электронный ресурс). – Санкт-Петербург. – 2012. – 155 с.
- Шевченко А.А. Химическое сопротивление неметаллических материалов и защиты от коррозии. – М.: Колос, 2006. – 248 с.
- Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
- Лаптев А.Б., Кравцов В. В. Коррозия алюминия и сплавов на его основе в химических средах // в книге: Коррозия алюминиевых сплавов. – Москва: ВИАМ, 2021. – С. 250-258.
- Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брык-

син И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. / Под ред. акад. Я.М. Колотыркина. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.

14. Ганиев И.Н., Джайлоев Дж.Х., Ганиева Н.И., Ходжаназаров Х.М., Холов Е.Дж., Амонзода И.Т. Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава Е-AlMgSi ("АЛДРЕЙ") с кадмием в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 22-29.

15. Ганиев И.Н., Сайдов М.М., Файзуллоев У.Н., Ходжаназаров Х.М. Анодное поведение алюминиевого сплава АМ4.5МГ1 типа дуралюмин, легированного празеодимом, в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 37-45.

16. Махмудзода М., Эшов Б.Б., Джайлоев Д.Х. Анодное поведение алюминиевого сплава АК7 и композиционного материала системы Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в среде раствора электролита NaCl // Металлург. – 2023. – № 10. – С. 39-42.

17. Ганиев И.Н., Сайдова 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). – С. 37-41.

18. Ганиев И.Н., Сайдов М.М., Файзуллоев У.Н., Худойбердизода С.У. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава АМ4.5МГ1 типа дуралюмин с лантаном в среде водного раствора NaCl // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – № 1 (161). – С. 23-33.

19. Ганиев И.Н., Сайдова Ф.Р., Худойбердизода С.У., Джайлоев Д.Х. Анодное поведение алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин, со стронцием в среде водного раствора NaCl // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2024. – Т. 32, № 1-2. – С. 13-19.

### References

1. Postnikov, N. S. (1976). *Corrosion-resistant aluminum alloys*. Moscow: Metallurgy. (in

Russ.)

2. Luzhnikova, L. P. (1967). *Materials in mechanical engineering, T.1. Non-ferrous metals and alloys*. Moscow: Mashinostroyeniye. (in Russ.)

3. Tarasenko, L. V., Kolobnev N. I., Khokhlatova L. B. (2008). Phase composition and mechanical properties of alloys of the Al - Mg - Li - Me system. *Metal science and heat treatment of metals*, (2), 40-43. (in Russ.)

4. Fridlyander, I. N. (2002). Modern aluminum, magnesium alloys and composite materials based on them. *Metal Science and Therm. arr. Metals*, (7), 24-29. (in Russ.)

5. Fridlyander, I. N., Kolobnev, N. I., Khokhlatova, L. B. et al. (2000). *Proceedings of the 7th International Conference on Aluminum Alloys (ICAA-7)*, 3, 1393-1397. (in Russ.)

6. Antipov, V. V., Lavrov, N. A., Sukhoivanenko, V. V., Senatorova, O. G. (2013). Experience of using Al-Li alloy 1441 and layered materials based on it in seaplanes. *Non-ferrous metals*, (9), 46-50. (in Russ.)

7. Sinyavsky, V. S., Valkov, V. D., & Kalinin, V. D. (1986). *Corrosion and protection of aluminum alloys*. Moscow: Metallurgy. (in Russ.)

8. Prach, E. L., Mikhailenkov, K. V. (2014). Development of a new casting alloy of the Al-Mg-Si-Mn system with the addition of lithium. *Foundry production*, (7), 13-15. (in Russ.)

9. Shemetev, G. F. (2012). Aluminum alloys: compositions, properties, applications. Textbook for the course "Production of castings from non-ferrous metal alloys." Part I (Electronic resource). Saint Petersburg, 155 p. (in Russ.)

10. Shevchenko, A. A. (2006). *Chemical resistance of non-metallic materials and corrosion protection*. Moscow: Kolos. (in Russ.)

11. Stroganov, G. B., Rotenberg, V. A., & Gershman, G. B. (1977). *Aluminum alloys with silicon*. Moscow: Metallurgy. (in Russ.)

12. Laptev, A. B., Kravtsov, V. V. (2021). Corrosion of aluminum and alloys based on it in chemical environments. *Corrosion of aluminum alloys*. Moscow: VIAM, 250-258. (in Russ.)

13. Freiman, L. I., Makarov, V. A., & Bryksin, I. E. (1972). Potentiostatic methods in corrosion research and electrochemical protection. / Ed. acad. Ya.M. Kolotyrkina. Leningrad: Chemistry. (in Russ.)

14. Ganiev, I. N., Dzhayloev, J. Kh., Ganie-

- va, N. I., Khodzhanazarov, Kh .M., Kholov, E. J., & Amonzoda, I. T. (2023). Anodic behavior of conductive aluminum alloy E-AlMgSi ("ALDREY") with cadmium in NaCl solution. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 28(4), 22-29. (in Russ.)
15. Ganiev, I. N., Saidov, M. M., Faizulloev, U. N., & Khodzhanazarov, Kh. M. (2024). Anodic behavior of aluminum alloy AM4.5MG1 type duralumin, alloyed with praseodymium, in NaCl solution. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 29(1), 37-45. (in Russ.)
16. Makhmudzoda, M., Eshov, B .B., & Dzhayloev, D. Kh. (2023). Anodic behavior of aluminum alloy AK7 and composite material of the Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system in an NaCl electrolyte solution. *Metallurg*, (10), 39-42. (in Russ.)
17. Ganiev, I. N., Saidova, F. R., Khudoiberdizoda, S. U., Savdulloeva, S. S., Dzhailo-  
ev, D. Kh., & Abulkhaev, V. D. (2023). Anodic behavior of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 doped with calcium in NaCl electrolyte medium. *Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, (65 (91), 37-41. (in Russ.)
18. Ganiev, I. N., Saidov, M. M., Faizulloev, U. N., & Khudoiberdizoda, S. U. (2024). Potentiostatic study of aluminum alloy AM4.5MG1 type duralumin with lanthanum in an aqueous solution of NaCl. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 1 (161), 23-33. (in Russ.)
19. Ganiev, I. N., Saidova, F. R., Khudoiberdizoda, S. U., & Dzhayloev, D. Kh. (2024). Anodic behavior of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin, with strontium in an aqueous solution of NaCl. *Galvanotechnika and surface treatment*, 32(1-2), 13-19. (in Russ.)

#### Информация об авторах

**Ганиев Изатулло Наврузович**, академик НАН Таджикистана, д.х.н., профессор, заведующий лабораторией «Коррозионно-стойкие материалы», Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

**Савдulloева Салима Савдulloевна**, н.с., лаборатория «Коррозионно-стойкие материалы», Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

**Худойбердизода Сайдмири Убайдулло**, к.т.н., в.н.с., лаборатория «Коррозионно-стойкие материалы», Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

**Джайлоев Джамshed Хусейнович**, к.т.н., в.н.с., лаборатория «Коррозионно-стойкие материалы», Институт химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

#### Information about authors

**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 Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

**Salima S. Savdulloeva**, researcher at the laboratory «Corrosion-Resistant Materials», V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

**Saidmiri U. Khudoiberdizoda**, Ph.D. of Technical Sciences, Leading Researcher at the «Corrosion-Resistant Materials», V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

**Jamshed Kh. Dzhayloev**, Ph.D. of Technical Sciences, Leading Researcher at the «Corrosion-Resistant Materials», V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan