

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
METALLURGY AND HEAT TREATMENT OF METALS AND ALLOYS**

Научная статья

УДК 669.017:620.197

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-64-73

**КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА
AlMg5.5Li2.1Zr0.15 ТИПА ДУРАЛЮМИН, ЛЕГИРОВАННОГО ИНДИЯ, В
РАСТВОРЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ**

Ганиев Изатулло Наврузович ¹, Акбаров Шарифджон Сайдуллоевич ²,
Худойбердизода Саидмири Убайдулло ³, Киреев Сергей Юрьевич ⁴,
Саидзода Масрур Мирзохон ⁵

¹ Институт химии им. В. И. Никитина НАН Таджикистана² Дангаринский государственный университет³ Пензенский государственный университет⁴ Худжандский Международный институт Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана

* для корреспонденции: ganiev48@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

29 августа 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 сентября 2025 г.

Принята к публикации:

30 сентября 2025 г.

Опубликована:

23 октября 2025 г.

Ключевые слова:

алюминиевый сплав

AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа

дуралюмин, индий,

потенциостатический метод,

электрохимические

потенциалы, раствор NaCl,

скорость коррозии

Аннотация.

В статье приведены результаты потенциостатического исследования алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин с индием в среде растворов NaCl с концентрацией 0,03%; 0,3% и 3,0% мас. %, при скорости развертки потенциала 2 мВ/с. Добавка индия к алюминиевому сплаву AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин составляла 0,01-1,0 мас. %. Показано, что легирование индием указанного сплава снижает скорость его коррозии на 13-18 %, что сопровождается сдвигом в область положительных значений электрохимических потенциалов. Рост концентрации NaCl в растворе способствует увеличению скорости коррозии сплавов вне зависимости от их состава и смещению электрохимических потенциалов в отрицательном направлении оси ординат.

Для цитирования: Ганиев И.Н., Акбаров Ш.С., Худойбердизода С.У., Киреев С.Ю., Саидзода М.М. Коррозионная стойкость алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин, легированного индием, в растворе хлорида натрия // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 5 (171). С. 64-73. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-64-73, EDN: MRFKLR

В 1965 г. Была опубликована работа И. Н. Фридляндера, В. Ф. Шамрая и Н.В. Ширяевой [1], в которой сообщалось об открытии большого эффекта термической обработки сплавов системы Al-Li-Mg. Эта работа послужила началом многочисленных исследований алюминиевых сплавов с литием в СССР, США и Англии. В американских публикациях ссылаются на работы И. Н. Фридляндера [3, 4] как первоисточник. Сплавы отличаются пониженной плотностью, повышенным модулем упругости при достаточно высокой прочности и пластичности. Они позволяют снижать вес конструкций на 10-15%.

Установлен следующий состав сплава 01420; 5,0-6,0% Mg; 1,9-2,3% Li; 0,09-0,15% Zr; 0,1-0,3% Si; примесей, не более: 0,3% Fe; 0,1% Ti; 0,3% Mn; 0,05%Na [1,2]. Тройные сплавы имеют низкую коррозионную стойкость.

Большое влияние на скорость коррозии в морской воде оказывает глубина погружения. Скорость коррозии металлов резко уменьшается с глубиной погружения, что связано с уменьшением содержания кислорода в воде [4].

Повышение коррозионной стойкости было достигнуто дополнительным введением элементов-антикристаллизаторов. На первом этапе был разработан вариант сплава 01420 с марганцем. Впоследствии выявились преимущества сплава с цирконием. Этот вариант состава находит все большее применение в настоящее время (хотя в некоторых случаях сплав с марганцем может быть предпочтительнее).

Изучение поведения металла в различных условиях, как под действием внешней поляризации, так и без нее, имеет важное значение как с научной, так и с практической точки зрения [5].

В 2019 году компания MAYSCO International представила перечень из десяти материалов, получивших широкое применение в автомобильной индустрии. В этом списке значатся такие материалы, как: сталь, пластик, алюминий, резина, стекло, стекловолокно, свинец, медь, титан и магний [6].

Дюраль-алюминий – сплав с повышенным показателем прочности. Ключевой добавкой здесь служит медь, количество которой варьируется 2,2-7%. Также обязательно присутствуют примеси железа и кремния, в зависимости от сферы применения сплав может быть легирован марганцем и магнием. Дюраль-алюминий в связи с особенностями своей структуры не обладает высокими показателями пластичности, однако имеет малый удельный вес, вследствие чего высоко ценится в самолетостроении [5].

В годы Великой Отечественной войны был накоплен значительный опыт по прессованию профилей на гидравлических горизонтальных прессах. Они нашли широкое применение в самолетостроении вместо гнутых профилей из листовой заготовки. С пуском прессов усилием 12, 15 20 МН номенклатура прессованных профилей возросла до 300-350 наименований. Нагрев профилей перед закалкой проводили в расплавленной селитре, что надежно обеспечивало требуемые механические свойства профилей. Однако такой нагрев имел ряд существенных недостатков: большой расход электроэнергии, значительное коробление и изломы, взрывоопасность.

Инженерная мысль работала над поисками новых методов закалки. Во второй половине сороковых годов был осуществлен в производственных условиях способ закалки профилей и труб непосредственно на прессе после выхода их из очка матрицы. Идея закалки профилей и труб из сплава типа дюралюмин и других термически упрочняемых алюминиевых сплавов непосредственно на прессе возникла в результате многолетних исследований технологии прессования, режимов термообработки, структуры и механических свойств полуфабрикатов [6].

Термическая обработка дюралюминия состоит из нескольких этапов. Сначала его нагревают выше линии предельной растворимости (обычно приблизительно до 500°C). При такой температуре его состав являет собой однородный твердый раствор меди в алюминии. Далее металл закаляют, быстро погружая в воду, после происходит фиксация в нормальных условиях. При этом раствор получается пересыщенным. Далее некоторое время дюраль алюминий остается мягким и пластичным [7, 8].

Алюминий, хоть и является активным металлом, отличается достаточно хорошими коррозионными свойствами. Это можно объяснить способностью пассиваться во многих агрессивных средах.

Коррозионная стойкость алюминия зависит от многих факторов: чистоты металла, коррозионной среды, концентрации агрессивных примесей в среде, температуры и т. д. Сильное влияние оказывает pH растворов. Оксид алюминия на поверхности металла образуется только в интервале pH от 3 до 9. Очень сильно влияет на коррозионную стойкость алюминия его чистота. Для изготовления химических агрегатов, оборудования используют только металл высокой чистоты (без примесей) [9-13].

Цель работы заключается в исследовании коррозионно-электрохимического поведения алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа

дуралюмин, легированного индием, в растворах хлорида натрия различной концентрации.

Материалы и методика исследования

Сплавы для исследования получали из алюминия марки А 5 (ГОСТ 11069-74 2011), магния металлического (ГОСТ 804-93), лития металлического (ГОСТ 8775.0-87), циркония металлического (ГОСТ 25278.10-82), и индия металлического (ГОСТ 10297-94). Синтез сплавов проводили в шахтной лабораторной печи сопротивлением типа СШОЛ. Предварительно синтезировали лигатуры алюминия с 2 мас.% цирконием. Шихтовку сплавов проводили с учетом угара индия и магния. Исследованиям подвергали сплавы, масса которых отличалась 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 алюминиевого сплава проводили на импульсном потенциостате ПИ-50-1.1 в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2мВ/с с программатором ПР-8 и самописцем ЛКД-4. Температура в ходе эксперимента поддерживалась термостатом на уровне 20°C. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, вспомогательным – платиновый. Полученные значения электродных потенциалов пересчитывали относительно стандартного водородного электрода.

Электрохимические исследования проводились потенциостатическим методом на потенциостате ПИ-50.1.1. Скорость развертки

потенциала равнялась 2 мВ/с. Исследования проводили в среде водного раствора NaCl. Сигнал от прибора передавался на программатор ПР-8 и сохранялся на ЛКД-4. Образцы сплавов перед началом электрохимических измерений выдерживались до достижения стационарного потенциала, или потенциала свободной коррозии $E_{\text{св.кор.}}$, значения которого устанавливаются по зависимости потенциала (E , В) – время (t , мин.) в течение 1 часа выдержки в растворе хлорид натрия. Установившееся значение $E_{\text{св.кор.}}$ сплавов подтверждается более длительной выдержкой в течении (1–3 сут.).

При электрохимических исследованиях образцы поляризовали в положительном направлении, исходя от потенциала установившегося (потенциал свободной коррозии или стационарного $E_{\text{св.кор.}}$), до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока до 1 А/м^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 при электродной поверхности образца и снять оксидную пленку с поверхности электрода. Под конец образцы снова поляризовали в положительном направлении (Рис. 1, кривая IV). При таком переходе фиксируется потенциал питтингообразования ($E_{\text{п.о.}}$).

По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

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

Основные электрохимические характеристики сплавов определяли из вышеописанных потенциодинамических кривых – потенциалы коррозии ($E_{\text{кор.}}$), питтингообразования ($E_{\text{п.о.}}$) и репассивации ($E_{\text{рп.}}$), а также плотность тока коррозии. Последний рассчитывался по катодной кривой с учетом тафелевской наклонной $b_k=0,122$. Скорость коррозии являющейся функцией тока коррозии определялась по формуле:

$$K=i_{\text{кор.}} \cdot K,$$

где K – электрохимический эквивалент алюминия, среднее значение которого составляет $0,335 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$. В работах [14–19] описана

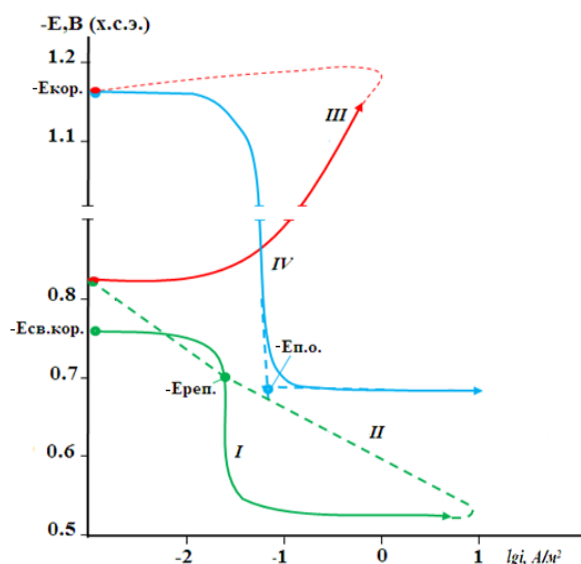


Рис. 1. Полная поляризационная (2мВ/с) кривая алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин, в среде раствора 3,0%-ного NaCl

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

подробная методика исследования анодного поведения сплавов.

Результаты электрохимических исследований легированного индием алюминиевого сплава

Таблица 1. Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ($E_{св.кор.}$, В) алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин от содержания индия, в среде раствора 0,03%- ного NaCl

Table 1. Time dependence of the potential (H.S.E.) of free corrosion ($E_{св.кор.}$, In) aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 of the duralumin type on the indium content in a solution of 0.03% NaCl

Время выдержки, минут	Содержания индия в сплаве, мас. %				
	0.0	0.01	0.1	0.5	1.0
0	0,926	0,880	0,871	0,859	0,848
0,15	0,913	0,872	0,860	0,850	0,839
0,2	0,902	0,864	0,851	0,840	0,830
0,3	0,890	0,856	0,842	0,832	0,821
0,4	0,878	0,848	0,833	0,823	0,810
0,5	0,867	0,840	0,824	0,813	0,800
0,6	0,856	0,832	0,816	0,804	0,790
2	0,846	0,824	0,808	0,796	0,781
3	0,837	0,816	0,800	0,788	0,774
4	0,828	0,808	0,792	0,780	0,767
5	0,820	0,800	0,786	0,772	0,760
10	0,813	0,792	0,780	0,766	0,755
20	0,806	0,784	0,775	0,760	0,750
30	0,800	0,777	0,770	0,755	0,744
40	0,796	0,771	0,766	0,752	0,742
50	0,792	0,770	0,762	0,751	0,741
60	0,790	0,770	0,761	0,751	0,741

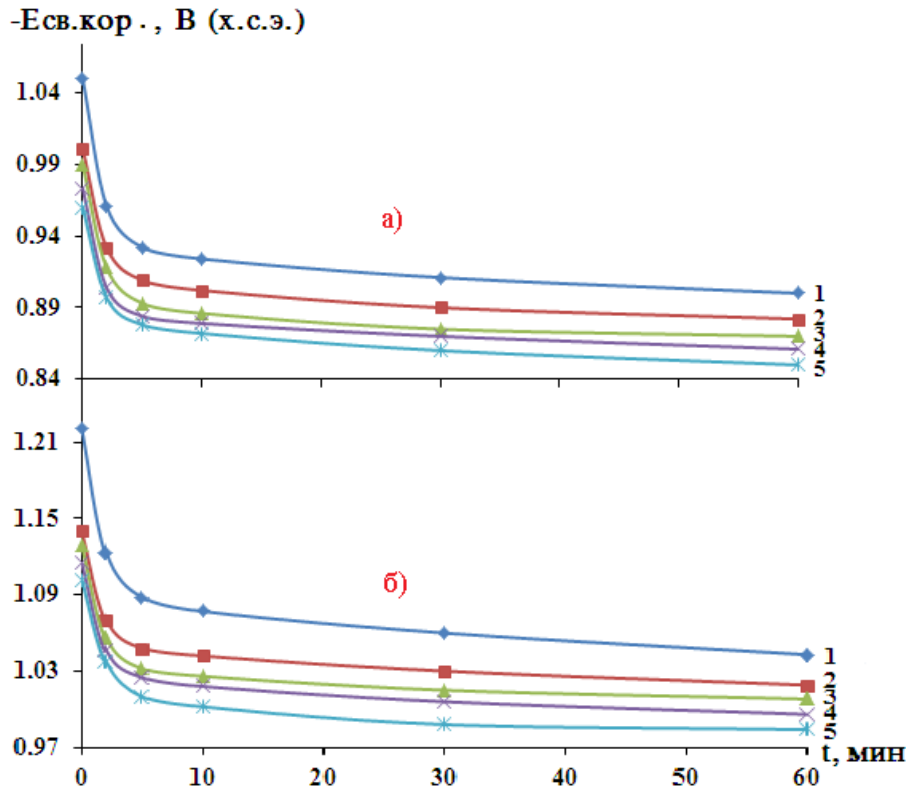


Рис. 2. Временная зависимость $E_{св.кор.}$ алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин с индием, мас. %: 0,01(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5), в среде водного раствора 0,3 % (а) и 3,0% - ного (б) NaCl
Fig. 2. Time dependence – Eruption of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin with indium, wt. %: 0,01(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5), in an aqueous solution of 0.3%(a) and 3.0% (b) NaCl

AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин представлены на Рис. 2-5 и в Таблицах 1, 2. Из Рис. 2 и Таблицы 1 вытекает, что по мере разбавления водного раствора NaCl $E_{\text{св.кор.}}$ сплавов смещается в область положительных значений, особенно в первые 10-20 минут от начала погружения электрода в раствор. Стабилизация $E_{\text{св.кор.}}$ происходит после 20-40 минут от начала погружения электрода в раствор. Данная зависимость свидетельствует о пассивации поверхности образца в результате

формирования защитной оксидной пленки. Например, после одного часа выдержки в водном растворе 0,03% NaCl $E_{\text{св.кор.}}$ нелегированного сплава составляет -0,790 В, а у сплава, содержащего 1,0 мас. % индия $E_{\text{св.кор.}}$ равняется 0,741 В (Таблица 1).

В Таблице 2 представлены обобщенные результаты исследования анодного поведения алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин с индием. С ростом концентрации индия в сплаве AlMg5.5Li2.1Zr0.15 потенциал

Таблица 2. Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин с индием, в среде раствора NaCl
Table 2. Corrosion and electrochemical characteristics of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin with indium, in the medium of NaCl solution

Среда NaCl	Содержание индия в сплаве	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		−E _{св.кор.}	−E _{кор.}	−E _{п.о.}	−E _{рп.}	i _{кор.} ·10 ² , А/М ²	K·10 ³ , г/М ² ·ч
мас. %							
0,03	-	0.790	1.000	0.670	0.740	7.1	23.78
	0.01	0.770	0.965	0.649	0.712	6.4	21.44
	0.1	0.761	0.956	0.641	0.704	6.2	20.77
	0.5	0.751	0.948	0.633	0.695	6.0	20.10
	1.0	0.741	0.940	0.625	0.687	5.8	29.43
0,3	-	0.900	1.070	0.780	0.870	9.0	30.15
	0.01	0.882	1.032	0.746	0.826	8.3	27.80
	0.1	0.870	1.024	0.738	0.818	8.1	27.13
	0.5	0.861	1.016	0.730	0.810	7.9	26.46
	1.0	0.850	1.008	0.722	0.802	7.7	25.70
3,0	-	1.043	1.200	0.900	1.000	10.9	36.51
	0.01	1.019	1.169	0.877	0.964	10.2	34.17
	0.1	1.008	1.160	0.868	0.956	10.0	33.50
	0.5	0.996	1.150	0.859	0.948	9.8	32.83
	1.0	0.984	1.140	0.850	0.940	9.6	32.16

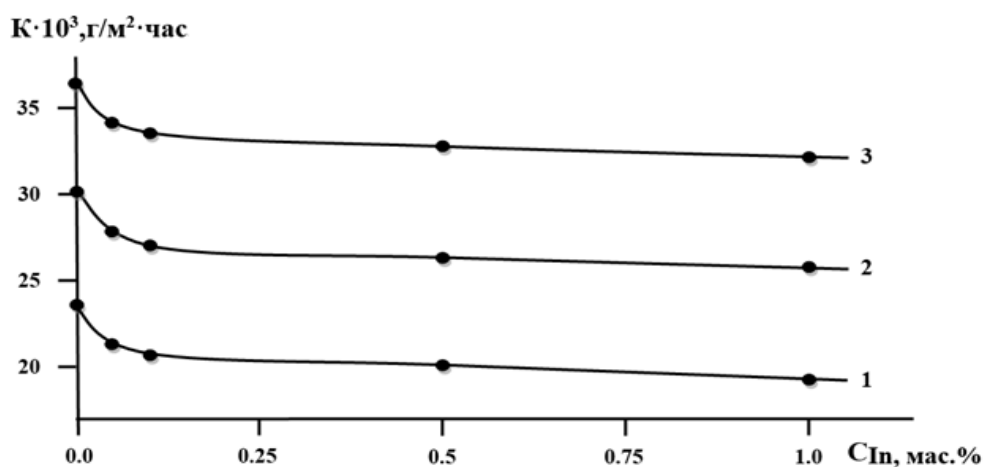


Рис. 3. Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин с индием в среде раствора NaCl с концентрацией: 0.03% (1); 0.3% (2); и 3.0% (3)
Fig. 3. Dependence of the corrosion rate of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin with indium in a NaCl solution medium with a concentration of: 0.03% (1); 0.3% (2); and 3.0% (3)

коррозии смещается в положительном направлении оси ординат. При переходе от слабого раствора NaCl к сильному наблюдается уменьшение величины потенциала свободной коррозии независимо от содержания легирующего компонента. Рост концентрации легирующего компонента способствует увеличению величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации раствора NaCl. С ростом концентрации раствора NaCl увеличивается плотность тока коррозии и, соответственно, скорость коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин с индием.

На Рис. 3 представлена графическая зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин от содержания индия в нем, в среде раствора NaCl

различной концентрации. Добавка индия во всех изученных средах способствует снижению скорости коррозии исходного алюминиевого сплава.

Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин с индием показана на Рис. 4. Легирование индием снижает величину плотности тока коррозии исходного сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин. С ростом концентрации хлорид – иона в растворе NaCl наблюдается рост плотности тока коррозии сплавов вне зависимости от содержания индия в них.

На Рис. 5 представлены анодные ветви потенциодинамических кривых исследованных сплавов. Видно, что плотность тока коррозии исходного сплава уменьшается с увеличением концентрации индия, а потенциалы свободной

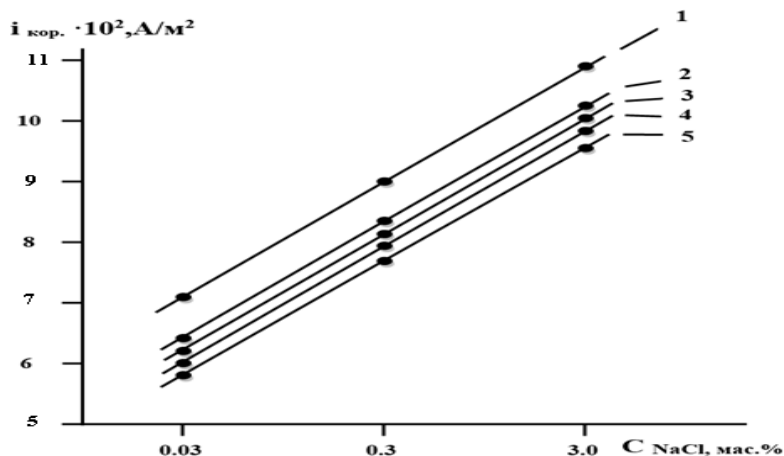


Рис. 4. Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин (1), содержащего индий, мас. %: 0.01(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) от концентрации NaCl
Fig. 4. Dependence of the corrosion current density of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin (1) containing indium, wt. %: 0.01(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) from the concentration of NaCl

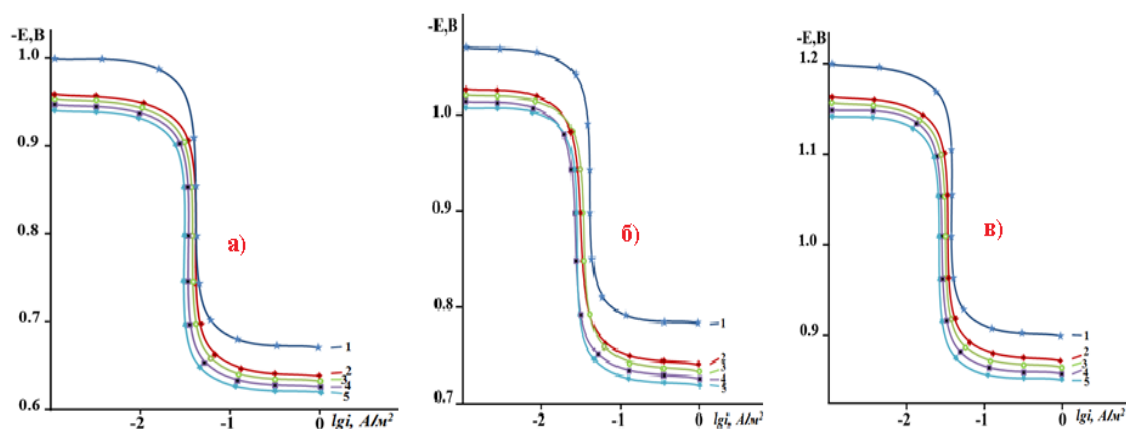


Рис. 5. Потенциодинамические анодные поляризационные (2мВ/с) кривые алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин (1), содержащего индий, мас. %: 0.01(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) в среде раствора 0,03% (а), 0,3% (б) и 3,0 %-ного (в) NaCl
Fig. 5. Potentiodynamic anode polarization (2 MV/s) curves of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin (1) containing indium, wt. %: 0.01(2); 0.1(3); 0.5(4); 1.0(5) in a 0.03% solution medium (a), 0.3% (b) and 3.0% (c) NaCl

коррозии ($E_{\text{св.кор.}}$) и питтингообразование ($E_{\text{п.о.}}$) смещаются при этом в положительную область значений.

Выводы

Таким образом, потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2мВ/с в среде электролита NaCl исследовано анодное поведение алюминиевого сплава AlMg5.5Li2.1Zr0.15 типа дуралюмин и определены основные коррозионно-электрохимические параметры процесса их коррозии.

Происходит обогащение электрохимических потенциалов, результатом чего является снижение скорости коррозии в растворах хлорида натрия различной концентрации.

Установлено, что легирование индия до 1.0 мас. % повышает его анодную устойчивость на 13-18% в среде раствора NaCl. С повышением концентрации легирующих компонентов отмечается изменение в положительном направлении оси ординат потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации. С ростом концентрации Cl⁻ иона уменьшаются потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов, увеличивается скорость их коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Квасов И. Ф., Фридляндер И. Н. Алюминиевые сплавы типа дуралюмин. М. : Металлургия, 1984. С. 222–224.
2. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: Справочное руководство. М. : Металлургия, 1972. С. 552.
3. Фридляндер И. Н., Шамрай В. Ф., Ширяева Н. В. Фазовый состав и механические свойства сплавов алюминия с магнием и литием // Известия АН СССР. Металлы. 1965. № 2. С. 153–158.
4. Брянцева В. И., Цхе Л. А., Бундже В. Г., Дунаев Ю. Д., Кирьяков Г. З. Электрохимия металлов и химия амальгам. Алма-Ата : «Наука КазССР», 1969. С. 23–28.
5. Mayco international: official site. URL: <https://maycointernational.com/blog/what-are-cars-made-of/> (дата обращения: 09.01.2025).
6. Квасов Ф. И. Производство полуфабрикатов из легких сплавов за 50 лет Советской власти // Технология легких сплавов. 1967. № 5. С. 3–6.
7. 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. С. 40–43.
8. Фридляндер И. Н. Современные алюминиевые, магниевые сплавы и композиционные материалы на их основе // Металловедение и термическая обработка металлов. 2002. № 7. С. 24–29.
9. Антипов В. В., Лавров Н. А., Сухоиваненко В. В., Сенаторова О. Г. Опыт применения Al-Li-сплава 1441 и слоистых материалов на его основе в гидросамолетах // Цветные металлы. 2013. № 9. С. 46–50.
10. 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.
11. 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.
12. Фрейман Л. И., Макаров В. А., Брыксин И. Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. Л. : Химия, 1972г. 240 с.
13. Ганиев И. Н., Саидов М. М., Файзуллоев У. Н., Ходжаназаров Х. М. Анодное поведение алюминиевого сплава AM4.5Mg1 типа дуралюмин, легированного празеодимом, в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. 2024. Т. 29. № 1. С. 37–45.
14. Ганиев И. Н., Саидов М. М., Файзуллоев У. Н., Худойбердизода С. У. Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава AM4.5Mg1 ТИПА дуралюмин с лантаном в среде водного раствора NaCl // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 1 (161). С. 23–33.
15. 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. Т. 32. № 1–2. С. 6–12.
16. Ганиев И. Н., Саидова Ф. Р., Худойбердизода С. У., Савдуллоева С. С., Джайлоев Дж. 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. № 2. С. 37–41.
17. 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. Т. 30. № 2. С. 56–63.
18. Ганиев И. Н., Савдуллоева С. С., Худойбердизода С. У., Джайлоев Дж. Х.

Потенциостатическое исследование алюминиевого сплава $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ типа дюралюмин с лантаном в среде водного раствора NaCl // Практика противокоррозионной защиты. 2024. Т. 29. № 3. С. 41–49.

19. Ганиев И. Н., Саидова Ф. Р., Худойбердизода С. У., Джайлоев Д. Х. Анодное

поведение алюминиевого сплава $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ типа дюралюмин, со стронцием в среде водного раствора NaCl // Гальванотехника и обработка поверхности. 2024. Т. 32. № 1–2. С. 13–19.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Ганиев Изатулло Наврузович – академик НАН Таджикистана, д.х.н., проф., зав. Лабораторией «Коррозионностойкие материалы» Института химии В.И. Никитина НАН Таджикистана, Адрес: Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, проспект Айни 299/2, e-mail: ganievizatullo48@gmail.com

Акбаров Шарифджон Сайдуллоевич – соискатель Дангаринского государственного университета, 735320, г. Дангара, улица Маркази, 25., e-mail: akbarov_sharifchon@mail.ru

Худойбердизода Саидмири Убайдулло – к.т.н., ведущий научный сотрудник ГНУ «Институт химии В.И. Никитина НАН Таджикистана», e-mail: saidmir010992@mail.ru

Киреев Сергей Юрьевич – д.т.н., профессор, декан факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта Пензенского государственного университета, ул. Красная 40, 440026, Пенза, Пензенская область, Российская Федерация, e-mail: sergey58_79@mail.ru

Саидзода Масрур Мирзохон – д.т.н., доцент, Ректор Худжандского Международного Университета, Худжандский Международный институт Международного университета туризма и предпринимательства Таджикистана, 735716, г. Худжанд, e-mail: masrur.saidzoda88@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Ганиев Изатулло Наврузович – разработка идеи, постановка исследовательской задачи, внесение правок.

Акбаров Шарифджон Сайдуллоевич – оформление статьи, произведение расчетов, работа с редакцией.

Худойбердизода Саидмири Убайдулло – курирование, подготовка необходимых документов для публикации, формулирование выводов.

Киреев Сергей Юрьевич – обзор существующей литературы научный менеджмент, критика, внесение правок вследствие вычитки.

Саидзода Масрур Мирзохон – обзор более широкого круга литературы на выбранную тематику, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

CORROSION RESISTANCE OF ALUMINUM ALLOY $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ TYPE DURALUMIN DOPED WITH INDIUM IN SODIUM CHLORIDE SOLUTION

Izatullo N. Ganiev¹, Sharifjon S. Akbarov²,
Saidmiri U. Khudoyberdizoda³, Sergey Yu. Kireev⁴,
Masrour M. Saidzoda⁵

¹ V.I. Nikitin Institute of Chemistry of Academy of Sciences

² Dangara State University

³ Penza State University

⁴ Khujand International Institute of the International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan,

* for correspondence: ganiev48@mail.ru



Abstract.

The article presents the results of a potentiostatic study of aluminum alloy $\text{AlMg5.5Li2.1Zr0.15}$ of the duralumin type with indium in NaCl solutions

Article info

Received:

29 August 2025

Accepted for publication:

22 September 2025

Accepted:

30 September 2025

Published:

23 October 2025

Keywords: aluminum alloy

AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type

duralumin, indium,

potentiostatic method,

electrochemical potentials, NaCl

solution, corrosion rate.

with concentrations of 0.03%, 0.3% and 3.0% by weight, at a potential expansion rate of 2 mV/s. The addition of indium to aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 of the duralumin type was 0.01-1.0% by weight. It was shown that indium alloying of this alloy reduces its corrosion rate by 13-18%, which is accompanied by a shift to the range of positive values of electrochemical potentials. An increase in the NaCl concentration in solution increases the corrosion rate of alloys, regardless of their composition, and shifts electrochemical potentials in the negative direction of the ordinate axis

For citation: Ganiev I.N., Akbarov Sh.S., Khudoyberdizoda S.U., Kireev S.Yu., Saidzoda M.M. Corrosion resistance of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 type duralumin doped with indium in sodium chloride solution. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 5(171):64-73. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-5-64-73, EDN: MRFKLR

REFERENCES

1. Kvasov I.F., Fridlyander I.N. Alyuminiyevie splavi tipa duralumin. Moskva: «Metallurgiya»; 1984. Pp. 222–224.
2. Alyuminiyevie splavi. Promishlenniye seformiruemye, specheniye i liteyniye alyuminiyevie splavi: Spravochnoye rukovodstvo. M.: Metallurgiya; 1972. P. 552.
3. Fridlyander I.N., Shamray V.F., Shiryayeva N.V. Phase composition and mechanical properties of aluminum alloys with magnesium and lithium. *Izvestiya AN SSSR. Metall.* 1965; 2:153–158.
4. Bryanseva V.I., Skhe L.A., Bundzhe V.G., Dunayev Yu.D., Kiryakov G.Z. Elektrokhiimiya metallov i khimiya amalgam. Alma-Ata: «Nauka KazSSR»; 1969. Pp. 23–28.
5. Mayco international: official site. URL: <https://maycointernational.com/blog/what-are-cars-made-of/> (дата обращения: 09.01.2025).
6. Kvasov F. I. Proizvodstvo polufabrikatov iz lyogkikh splavov za 50 let Sovetskoy vlasti. *Tekhnologiya lyogkikh splavov.* 1967; 5:3–6.
7. Tarasenko L.V., Kolobnyov N.I., Khokhlatova L.B. Fazoviy sostav i mekhanicheskiye svoystva splavov sistemi Al - Mg - Li – Me. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov.* 2008; 2:40–43.
8. Fridlyander I.N. Sovremenniye alyuminiyeviy, magniyeviy splavi i kompozitsionniye materialy na ikh osnove. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov.* 2002; 7:24–29.
9. Antipov V.V., Lavrov N.A., Sukhoivanenko V.V., Senatorova O.G. Obit primeneniye Al–Li-splava 1441 i sloistikh materialov na yego osnove v gidrosamolyotakh. *Svetniye metalli.* 2013; 9:46–50.
10. Prach E.L., Mikhaylenkov K.V. Razrabotka novogo liteynogo splava sistemi Al–Mg–Si–Mn s dobavkoy litiya. *Liteynoye proizvodstvo.* 2014; 7:13–15.
11. Shemetev G.F. Alyuminiyevie splavi: sostavi, svoystva, primeneniye. Uchebnoye posobiye po kurse «Proizvodstvo otlivok iz splavov svetnikh metallov». Chast I (Elektronniy resurs). Sankt-Peterburg. 2012. 155 p.
12. Freyman L.I., Makarov V.A., Briksin I.E. Potentsiosticheskoye Metodi v korrozionnikh issledovaniyakh i elektrokhiimicheskoy zashite. L.: Khimiya; 1972g. 240p.
13. Ganiev I.N., Savdulloyeva S.S., Khudoyberdizoda S.U., Dzhayloyev Dzh.H., Khalikova L.R., Makhmudzoda M. Anodnoye povedeniye alyuminiyevogo splava AlMg5.5Li2.1Zr0.15 tipa duralumin, legirovannogo prazecodimom, v srede elektrolita NaCl. *Izvestiya visshukh uchebnikh zavedeniy. Tekhnologiya lyogkoy promishlennosti.* 2024; 69(5):33–38.
14. Ganiev I.N., Saidov M.M., Fayzulloyev U.N., Khudoyberdizoda S.U. Potentsiosticheskoye issledovaniye alyuminiyevogo splava AM4.5Mg1 tipa duralumin s lantanom v srede vodnogo rastvora NaCl. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarsvennogo tekhnicheskogo universiteta.* 2024; 1(161):23–33.
15. Kireev S.Yu., Sinenkova S.R., Kireeva S.N., Naumov L.V., Kozlov G.V., Balyberdin A.S. Poluchenie i svoystva kompozitsionnikh elektrokhiimicheskikh pokritiy indiy-grafit i nikel-karbid

volframa. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2024; 32(1–2):6–12.

16. Ganiev I.N., Saidova F.R., Khudoiberdizoda S.U., Savdulloeva S.S., Dzhayloev J.H., Abulkhaev V.D. Anodic behavior of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 alloyed with calcium in NaCl electrolyte // “Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)”. 2023; 2:37–41.

17. Khudoiberdizoda S.U., Ganiev I.N., Dzhayloev J.H., Kireev S.Yu., Yanguzarova A.Z., Kirilina Yu.N., Mulloyeva M.N. Korroziionnaya stoykost svinsa, legirovannogo medyu, v rastvore khlorida natriya.

Praktika protivokorroziionnoy zashiti. 2025; 30(2):56–63.

18. Ganiev I.N., Savdulloeva S.S., Khudoiberdizoda S.U., Dzhayloev J.H. Potensiostaticheskoye issledovaniye alyuminiyevogo splava AlMg5.5Li2.1Zr0.15 tipa duralyumin s lantanom v srede vodnogo rastvora NaCl. *Praktika protivokorroziionnoy zashiti*. 2024; 29(3):41–49.

19. Ganiev I.N., Saidova F.R., Khudoiberdizoda S.U., Dzhayloev J.H. Anodnoye povedeniye alyuminiyevogo splava AlMg5.5Li2.1Zr0.15 tipa dyuralyumin, so stronsiyem v srede vodnogo rastvora NaCl. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2024; 32(12):13–19.

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Izatullo N. Ganiev – Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dr. Sc. in Chemistry, Professor, Head of the Laboratory of Corrosion-Resistant Materials at the V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Address: Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Ayni Avenue 299/2, e-mail: ganievizatullo48@gmail.com

Sharifjon S. Akbarov - PhD candidate, Dangara State University, 735320, Dangara, Markazi Street, 25. e-mail: akbarov_sharifchon@mail.ru

Saidmiri U. Khudoyberdizoda - PhD, Leading Researcher, V.I. Nikitin Institute of Chemistry, National Academy of Sciences of Tajikistan, e-mail: saidmir010992@mail.ru

Sergey Yu. Kireev – Dr. Sc. in Engineering, Professor, Dean of the Faculty of Industrial Technologies, Electric Power Engineering and Transport, Penza State University, 40 Krasnaya St., 440026, Penza, Penza Oblast, Russian Federation, e-mail: sergey58_79@mail.ru

Masrour M. Saidzoda – Dr. Sc. in Engineering, Associate Professor, Rector of Khujand International University, e-mail: masrur.saidzoda88@mail.ru, Khujand International Institute of the International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan, 735716, Khujand, Republic of Tajikistan

Contribution of the authors:

Izatullo N. Ganiev – concept development, research problem formulation, and revisions.

Sharifjon S. Akbarov – article design, calculations, and editorial work.

Saidmiri U. Khudoyberdizoda – supervision, preparation of necessary documents for publication, and formulation of conclusions.

Sergey Yu. Kireev – review of existing scientific management literature, critique, and revisions following proofreading.

Masrour M. Saidzoda – review of a broader range of literature on the selected topic, data collection and analysis.

All authors have read and approved the final manuscript.

