



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

Тип статьи: научная, оригинальная

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

Article type: original

<https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.111.1-4>

**Анодное поведение алюминиевого сплава AM4.5Mg1 типа дюралюмин,
легированного празеодимом, в растворе NaCl**

И.Н. Ганиев^{1✉}, М.М. Саидов², У.Н. Файзуллоев³, Х.М. Ходжаназаров¹

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

²Республиканский медицинский колледж,
Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Рахмона Набиева, д. 248

³Филиал Национального исследовательского технологического университета
«МИСИС» в г. Душанбе,
Республика Таджикистан, 734042, г. Душанбе, ул. Моёншо Назаршоева, д. 7

e-mail: ganiev48@mail.ru

Аннотация. История применения алюминия для строительства летательных аппаратов своими корнями уходит в годы, предшествующие Первой мировой войне. Накануне этой войны известный немецкий конструктор граф Цепелин разработал проект большого жёсткого дирижабля. Однако выяснилось, что сделать его каркас из дерева невозможно, поскольку он получался тяжёлым и непрочным. Лучше всего подходил алюминий, но он был слишком мягким. И вот тогда было принято принципиальное решение использовать в конструкциях воздухоплавательных средств изобретённый в 1909 г. немецким химиком Вильмом, лёгкий и прочный сплав на основе алюминия. По имени города Дюрена, где удалось наладить производство нового металла, его называли дюралюминием или дюралем.

Дюралюминий относится к категории конструкционных сплавов, которые отличаются повышенной прочностью. Основу их составляет алюминий. В качестве добавок используют медь, марганец, магний в разных процентных соотношениях. Свойства дюралюминия зависят от термической обработки и количества добавленных легирующих элементов.

В статье приведены результаты исследования влияние празеодима на анодное поведение алюминиевого сплава AM4.5Mg1 типа дюралюмин в растворе NaCl. Исследование коррозионно-электрохимического поведения сплавов проведено в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с. Показано, что добавка празеодима снижает скорость коррозии исходного сплава AM4.5Mg1 на 20...30%. Установлено, что увеличение концентрации хлорид-иона способствует росту скорости коррозии независимо от содержания празеодима в сплаве.

Ключевые слова: алюминиевый сплав AM4.5Mg1 типа дюралюмин, потенциодинамический метод, празеодим, раствор NaCl, скорость коррозии, потенциал коррозии, потенциал питтингообразования

Для цитирования: Ганиев И.Н., Саидов М.М., Файзуллоев У.Н., Ходжаназаров Х.М. Анодное поведение алюминиевого сплава AM4.5Mg1 типа дюралюмин, легированного празеодимом, в растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 37-45. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.111.1-4>

Получена 18.12.2023. Принята к публикации 20.02.2024. Опубликовано 01.03.2024.

**Anodic Behavior of Aluminum Alloy AM4.5Mg1 of the Duralumin Type,
Alloyed with Praseodymium, in a NaCl Solution**

**Izatullo N. Ganiev^{1✉}, Munavvarsho M. Saidov²,
Ubaidullo N. Faizulloev³, Khairullo M. Khojanazarov¹**

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

²Republican Medical College,

248, Rakhmona Nabieva st., Dushanbe, 734063, Republic of Tajikistan,

³Branch of the National Research Technological University «MISIS» in Dushanbe,
7, Nazarshoev st., Dushanbe, 734042, Republic of Tajikistan

e-mail: ganiev48@mail.ru

Abstract. The history of the use of aluminum for construction and aircraft goes back to the years before the First World War. On the eve of this war, the famous German designer Count Zeppelin developed a project for a large rigid airship. However, it turned out that it was impossible to make its frame from wood, since it turned out to be heavy and fragile. Aluminum was the best choice, but it was too soft. And then a fundamental decision was made to use duralumin, a light and durable aluminum-based alloy, invented in 1909 by the German chemist Wilm, in the designs of aeronautics. After the city of Duren, where it was possible to establish the production of the new metal, it was called duralumin or duralumin.

Duralumin belongs to the category of structural alloys, which are characterized by increased strength. They are based on aluminum. Copper, manganese, and magnesium are used as additives in different percentages. The properties of duralumin depend on the heat treatment and the amount of added alloying elements.

The article presents the results of a study of the effect of praseodymium on the anodic behavior of aluminum alloy AM4.5Mg1 of the duralumin type in a *NaCl* electrolyte environment. The study of the corrosion-electrochemical behavior of alloys was carried out by potentiodynamic mode with a potential sweep rate of 2 mV/s. It has been shown that the addition of praseodymium reduces the rate of anodic corrosion of the original alloy AM4.5Mg1 of the duralumin type by 20...30%. It has been established that an increase in the concentration of chloride ion promotes an increase in the rate of anodic corrosion, regardless of the praseodymium content in the AM4.5Mg1.

Keywords: aluminum alloy AM4.5Mg1 type duralumin, potentiodynamic method, praseodymium, *NaCl* solution, corrosion rate, corrosion potential, pitting potential

For citation: Ganiev, I. N., Saidov, M. M., Faizulloev, U. N., & Khojanazarov, Kh. M. (2024). Anodic Behavior of Aluminum Alloy AM4.5Mg1 of the Duralumin Type, Alloyed with Praseodymium, in a *NaCl* Solution. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 29(1), 37-45. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.111.1-4>

Received December 18, 2023. Accepted for publication February 20 2024. Published March 01, 2024.

Введение

В Российской Федерации для производства авиационной техники нашли широкое применение высокопрочные алюминиевые сплавы *Al-Zn-Mg-Cu* и сплавы средней и повышенной прочности *Al-Mg-Cu*, упрочняемые термической обработкой (ТО). Данные сплавы применяются в качестве конструкционных материалов для производства обшивки и внутреннего силового набора элементов планера самолёта. Для реализации возрастающих требований к ресурсу, надёжности и весовой эффективности конструкций необходимо осуществлять постоянное совершенствование композиций алюминиевых сплавов по легирующим элементам и примесям, технологическим процессам и параметрам производства. Особо прочный современный сплав В96ц-Зпч на основе системы *Al-Zn-Mg-Cu-Zr* (1965-1), разработанный в ВИАМ для длинномерных авиационных катаных и прессованных полуфабрикатов, предназначен для замены высокопрочного сплава В95 оч/пч, превосходя последний на 20% по пределу прочности, на 40% по

пределу текучести, существенно по удельным характеристикам прочности, что позволяет повысить весовую эффективность конструкции на 10...20% [1].

Zn, *Mg* и *Cu* образуют с *Al* и между собой твёрдые растворы и различные металлические соединения – $MgZn_2$, $S(Al_2CuMg)$, $T - (Mg_4Zn_3Al_3)$, оказывающие значительное влияние в упрочнении сплава при его ТО. В сплавах данной системы особенно важной является Т-фаза, находящаяся в равновесии с α -твёрдым раствором. Марганец и хром усиливают результат старения и повышают коррозионную стойкость сплавов данного типа. Кроме того, марганец способствует получению мелкозернистой структуры, затрудняет выделение интерметаллических фаз по границам зерен α -твёрдого раствора, незначительно повышает прочность сплава.

Сплав В96ц-Зпч является высоколегированным сплавом (сумма главных компонентов *Zn*, *Mg*, *Cu* может достигнуть 12,5 % по массе), он не прост при освоении полуфабрикатов в металлургическом производстве, начиная от отливки

и гомогенизации крупногабаритных плоских слитков и заканчивая новыми многоступенчатыми режимами искусственного старения полуфабрикатов [1, 2].

Одним из основных конструкционных металлических материалов в авиастроении считается сплав 1163. В отличие от других сплавов системы *Al-Cu-Mg*, сплав 1163 обладает более высокой вязкостью разрушения и повышенной выносливостью, что способствует его широкому применению в производстве элементов конструкций самолётов, работающих в режимах критических усталостных нагрузок [3, 4].

Дюраль (*Al-Cu*) – сокращение от дюралюмин, группа высокопрочных сплавов на основе алюминия 93,5%, с добавками меди 4,5%, магния 1,5% и марганца 0,5%. Плотность сплава – 2500...2800 кг/м³. Температура плавления дюралюмина – 650 °С. При испытаниях на растяжение типовое значение предела текучести составляет 250 МПа, предела кратковременной прочности 400...500 МПа. Прочностные характеристики зависят от состава и термообработки. Массовая плотность – 2,79 г/см³, интервал температуры плавления 510...640 °С. Линейный коэффициент термического расширения – $23,0 \cdot 10^{-6}/\text{K}$. Модуль упругости – 74 000 МПа. Теплопроводность – состояние Т4: 134 W/М°С, удельная теплоёмкость 920 Дж/кг°С [5-9].

Прутки используют в строительной сфере и машиностроении. Прокат применяется как сырьё для изготовления деталей и механизмов. Дюралюмин – немагнитный сплав, легок и пластичен, с повышенной электропроводностью. Прокат способен сохранять эксплуатационные характеристики при температурных колебаниях, эти достоинства делают прокат востребованным на производствах. Лента применяется в строительстве жилых и нежилых объектов недвижимости, при отделочных работах и в декоре помещений. Прокат применим как элемент герметизации и соединения швов, популярен в промышленности пищевого направления.

При производстве малогабаритных деталей и сборных конструкций используется проволока. Проволокой пользуются в отраслях промышленности, продукция

востребована в машиностроении и мебельной индустрии. Используется как универсальная основа для креплений, применяя при изготовлении элементов декора и фурнитуры для мебели, заклепок, пружин, сеток и т.д. Для изготовления легких, но в то же время прочных сооружений, возведения фасадов, изготовления элементов декоративной отделки и оборудования для пищевого блока используются трубы. Они применимы при прокладке специализированных трубопроводных систем. Прокат податлив к механической обработке и сварке точечным способом. Благодаря плакировке маркой чистого алюминия, повышается уровень коррозионной стойкости. Чтобы увеличить прочность, применяют термическую обработку [10, 11].

Целью настоящей работы является исследование влияния добавки празеодима на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого сплава AM4.5Mg1 типа дюралюмин.

Экспериментальная часть

Сплавы для исследования получали из алюминия марки А6 (ГОСТ 11069), меди марки М1к (99,95% *Cu*) ГОСТ 859-2014, магния Мг90 (99,9% *Mg*) ГОСТ 804-93), празеодима металлического (ГОСТ 23862.0-79). В шахтных лабораторных печах типа СШОЛ предварительно синтезировали лигатуры алюминия с 10 мас.% празеодима. Шихтовку сплавов проводили с учётом угара празеодима и магния. Исследованиям подвергали сплавы, масса которых отличалась от массы шихты не более, чем на 2%. В графитовой изложнице из полученных сплавов отливали цилиндрические образцы диаметром 8 мм, длиной 140 мм для исследования коррозионных свойств. Торцевая часть образцов служила рабочим электродом.

Электрохимические исследования проводились потенциодинамическим методом с использованием потенциостата ПИ-50.1.1, программатора ПР-8 и двухкоординатного регистратора ЛКД-4. Скорость развёртки потенциала равнялась 2 мВ/с. Исследования проводили в нейтральном растворе *NaCl*. Образцы сплавов перед началом электрохимических измерений вы-

держивались до достижения стационарного потенциала или потенциала коррозии $E_{кор}$, значения которого устанавливалось по зависимости «потенциал (E , В) – время (t , мин.)» в течение 1-го часа выдержки в растворе хлорида натрия. Установившееся значение $E_{кор}$ сплавов подтверждается более длительной выдержкой в течение 1...3 сут.

При электрохимических исследованиях образцы поляризовали в положительном направлении от установившегося начального потенциала $E_{кор1}$ до значения потенциала, при котором происходит резкое возрастание плотности тока до 1 А/м². Образцы далее поляризовали в обратном направлении (до значения потенциала –1,2 В), что позволило подщелачивать приэлектродную поверхность образца и снять оксидную плёнку с его поверхности. Далее образцы снова поляризовали в положительном направлении от установившегося потенциала коррозии $E_{кор4}$. При таком переходе фиксируется потенциал питтингообразования ($E_{n.o.}$).

По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

– $E_{кор}$ – потенциал коррозии;

– $E_{n.o.}$ – потенциал питтингообразования;
– $E_{p.n.}$ – потенциал репассивации;
– $i_{кор}$ – ток коррозии.

Процесс коррозии алюминиевого сплава АМ4.5Мг1 контролировался катодной реакцией ионизации кислорода в нейтральной среде, в связи с чем ток коррозии рассчитывался с учетом тафелевской константы ($b_k = 0,122$ В) из катодной ветви потенциодинамических кривых. Скорость коррозии, являющаяся функцией тока коррозии, определялась по формуле:

$$K = i_{кор} \cdot \kappa,$$

где κ – электрохимический эквивалент алюминия, среднее значение которого составляет 0,335 г/А·ч. В работах [12-15] описана подробная методика исследования коррозионно-электрохимического поведения сплавов.

Результаты электрохимических исследований легированного празеодимом алюминиевого сплава АМ4.5Мг1 представлены на рис. 1-3 и в табл.1, 2. Из рис. 1 и табл. 1 вытекает, что по мере разбавления электролита $NaCl$, $E_{кор}$ смещается в область положительных значений, особенно в первые 5...10 минут от начала погруже-

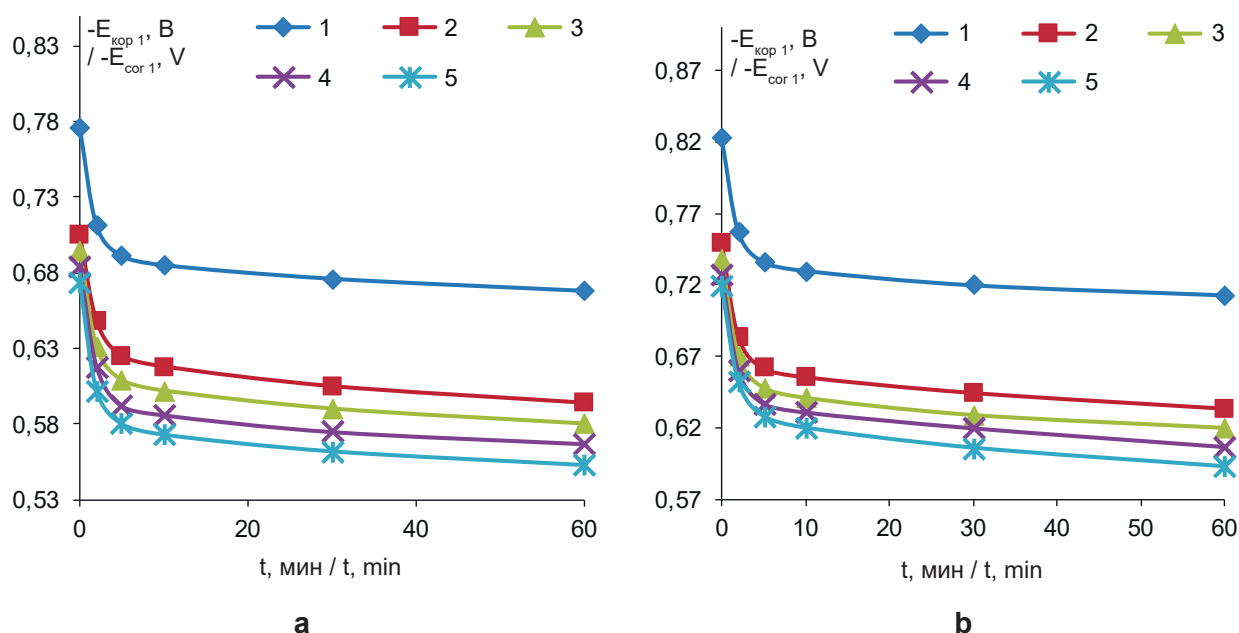


Рис. 1. Временная зависимость $-E_{кор1}$ алюминиевого сплава АМ4.5Мг1 (1) с празеодимом, мас. %: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5), в 0,03 % (а) и 0,3% $NaCl$ (б)

Fig.1. Time dependence $-E_{кор1}$ of aluminum alloy AM4.5Mg1 (1) type duralumin with praseodymium, wt. %: 0,05(2); 0,1(3); 0,5(4); 1,0(5) in 0,03% (a) and 0,3% $NaCl$ solution (b)

Таблица 1. Временная зависимость потенциала коррозии ($-E_{кор1}$, В) (х.с.э.) алюминиевого сплава AM4.5Mg1 от содержания празеодима в 3,0% NaCl

Table 1. Time dependence of the corrosion potential (s.c.e.) ($-E_{cor1}$, V) of the aluminum alloy AM4.5Mg1 of the duralumin type on the praseodymium content in 3,0% NaCl solution

Время выдержки, мин / Exposure time, min	Содержание празеодима в сплаве, мас. % / Praseodymium content in the alloy, wt. %				
	0,0	0,05	0,1	0,5	1,0
0	0,873	0,803	0,786	0,775	0,762
0,15	0,860	0,791	0,775	0,763	0,750
0,2	0,849	0,780	0,764	0,752	0,738
0,3	0,838	0,769	0,754	0,741	0,727
0,4	0,828	0,758	0,745	0,730	0,716
0,5	0,819	0,748	0,736	0,721	0,706
0,6	0,810	0,739	0,727	0,712	0,697
2	0,802	0,730	0,718	0,703	0,688
3	0,794	0,721	0,710	0,694	0,681
4	0,787	0,714	0,702	0,687	0,674
5	0,780	0,707	0,694	0,680	0,667
10	0,774	0,701	0,687	0,674	0,661
20	0,768	0,695	0,680	0,669	0,655
30	0,763	0,690	0,674	0,664	0,650
40	0,759	0,686	0,669	0,659	0,646
50	0,757	0,682	0,666	0,655	0,643
60	0,757	0,680	0,666	0,653	0,640

ния электрода в раствор. Стабилизация $E_{кор}$ 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 0,03% NaCl, $E_{кор}$ нелегированного сплава составляет -0,757 В, а у сплава, содержащего 1,0 мас. % празеодима, $E_{кор}$ равняется -0,640 В.

Анодное поведение алюминиевого сплава AM4.5Mg1 с празеодимом исследовалось в среде с различной концентрацией NaCl. Результаты исследования сплавов представлены в табл. 2. Как показывают результаты исследования, с ростом концентрации хлорид-иона в электролите NaCl $E_{кор}$ и $E_{п.о.}$ легированных сплавов уменьшаются. Это указывает на снижение устойчивости сплавов при воздействии на них хлорид-иона.

Легирование празеодимом до 1,0 мас.% сплава AM4.5Mg1 снижает скорость его коррозии примерно на 30 %. Такое влияние празеодима на скорость коррозии исходного сплава характерно для трёх исследованных сред NaCl. Рост концентрации хлорид-иона приводит к увеличению скорости коррозии сплавов (табл. 2). Торможение процесса анодного растворения сплава AM4.5Mg1 с празеодимом вызывает уменьшение скорости его коррозии. Пассивная оксидная плёнка на алюминии разрушается в нейтральных растворах в присутствии иона хлора. В результате этого возникает питтинговая коррозия.

На рис. 2 представлен графическая зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава AM4.5Mg1 от содержания празеодима в нем в растворе NaCl различной концентрации. Добавки празеодима во всех изученных средах способствуют снижению скорости коррозии исходного алюминиевого сплава.

Таблица 2. Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого сплава AM4.5Mg1 с празеодимом в среде NaCl

Table 2. Corrosion-electrochemical characteristics of aluminum alloy AM4.5Mg1 with praseodymium in NaCl environment

Среда <i>NaCl</i> / <i>NaCl</i> medium	Содержание празеодима в сплаве / Praseodymium content in alloy	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.) / Electrochemical potentials, V (s.c.e.)				Скорость коррозии / Corrosion rate	
		$-E_{kop1}$ / $-E_{cor1}$	$-E_{kop4}$ / $-E_{cor4}$	$-E_{н.о.}$ / $-E_{p.f.}$	$-E_{pn.}$ / $-E_{rp}$	$i_{kop} \cdot 10^2, \text{A/m}^2$ / $i_{cor} \cdot 10^2, \text{A/m}^2$	$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$ / $K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{h}$
	мас. % / wt. %						
0,03	0,0	0,668	1,090	0,602	0,680	4,6	15,41
	0,05	0,594	0,997	0,528	0,609	3,6	12,06
	0,1	0,580	0,988	0,519	0,600	3,4	11,39
	0,5	0,567	0,979	0,509	0,591	3,2	10,72
	1,0	0,553	0,970	0,500	0,580	3,0	10,05
0,3	0,0	0,713	1,121	0,640	0,711	5,1	17,08
	0,05	0,634	1,037	0,548	0,636	4,1	13,73
	0,1	0,620	1,028	0,539	0,627	3,9	13,06
	0,5	0,607	1,019	0,530	0,618	3,7	12,39
	1,0	0,593	1,010	0,520	0,609	3,5	11,72
3,0	0,0	0,757	1,165	0,685	0,730	5,6	18,76
	0,05	0,680	1,082	0,600	0,644	4,6	15,41
	0,1	0,666	1,072	0,592	0,634	4,4	14,74
	0,5	0,653	1,061	0,581	0,625	4,2	14,07
	1,0	0,640	1,052	0,570	0,615	4,0	13,40

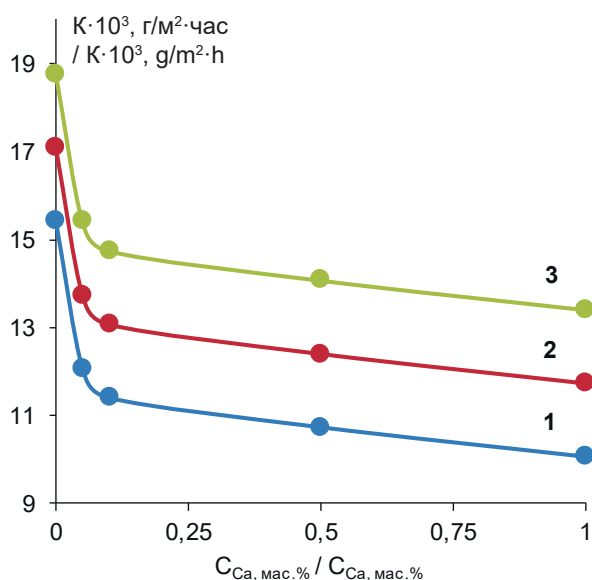


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплава AM4.5Mg1 (1) от содержания празеодима, мас. %: 0,03% (1), 0,3% (2) и 3,0% (3) растворы NaCl

Fig. 2. Dependence of the corrosion rate of aluminum alloy AM4.5Mg1 (1) on praseodymium content, wt. %: 0,03% (1), 0,3% (2) and 3,0% (3) NaCl solutions

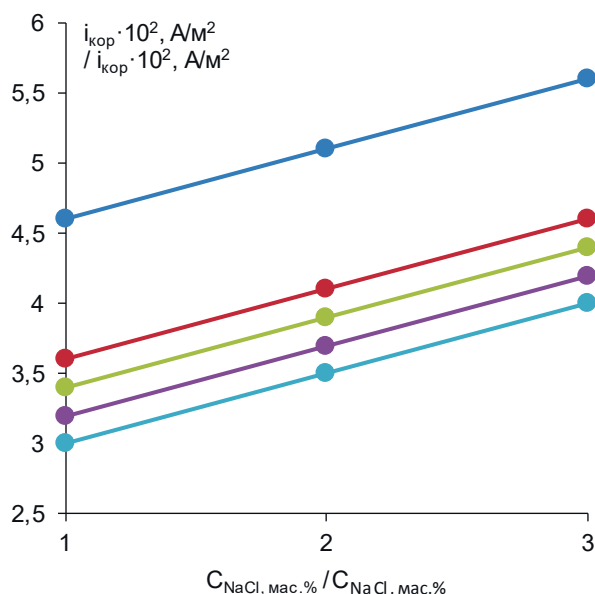


Рис. 3. Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава AM4.5Mg1 (1) с празеодимом, мас. %: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) от концентрации NaCl

Fig. 3. Dependence of the corrosion current density of aluminum alloy AM4.5Mg1 (1) with praseodymium, wt. %: 0,05 (2); 0,1 (3); 0,5 (4); 1,0 (5) from NaCl concentration

Зависимость плотности тока коррозии алюминиевого сплава AM4.5Mg1 с празеодимом показана на рис. 3. Легирование празеодимом снижает величину плотности тока коррозии исходного алюминиевого сплава AM4.5Mg1. С ростом концентрации хлорид-иона в растворе NaCl наблюдается рост плотности тока коррозии сплавов независимо от содержания празеодима в них.

Закключение

Представлены обобщённые результаты исследования анодного поведения алюминиевого сплава AM4.5Mg1 с празеодимом. С ростом концентрации празеодима в сплаве AM4.5Mg1 потенциал коррозии смещается в положительном направлении. При увеличении концентрации NaCl наблюдается уменьшение его величины независимо от содержания легирующего компонента. Рост концентрации легирующего компонента способствует увеличению величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах

независимо от концентрации электролита NaCl.

С ростом концентрации раствора NaCl увеличивается плотность тока коррозии и, соответственно, скорость коррозии алюминиевого сплава AM4.5Mg1 с празеодимом и уменьшаются потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов.

Таким образом, установлено, что анодная устойчивость повышается на 20...30%, при легировании празеодимом до 1,0 мас. % алюминиевого сплава AM4.5Mg1 в среде NaCl.

Литература

1. Белецкий В.М. Алюминиевые сплавы. Состав, свойства, технология, применение Справочник / В.М. Белецкий, Г.А. Кривов; Под общ. ред. акад. И.Н. Фридляндера. — Киев: КОМИНТЕХ, 2005. — 365 с.
2. Фридляндер И.Н. Современные алюминиевые, магниевые сплавы и композиционные материалы на их основе // Металловедение и терм. обр. металлов. — 2002. — № 7. — С. 24-29.
3. Фридляндер И.Н., Колобнев Н.И., Хохлатова Л.Б. и др. // Труды 7-ой Международной конференции по алюминиевым сплавам (ICAA-7). — 2000. — Т. 3. — С. 1393-1397.
4. Антипов В.В., Лавро 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.
5. Прач Е.Л., Михаленков К.В. Разработка нового литейного сплава системы Al-Mg-Si-Mn с добавкой Li // Литейное производство. — 2014. — № 7. — С. 13-15.
6. Shikun X., Rongxi Y., Zhi G., Xiang X., Chagen H., and Xiuyan G. Effects of Rare Earth Ce on Casting Properties of Al-4.5Cu Alloy, Adv // Mater. Res. — 2010. — V. 136. — P. 1-4.
7. Chaubey A.K., Mohapatra S., Jayasankar K., Pradhan S.K., Satpati B., Sahay S.S., Mishra B.K. and Mukherjee P.S. Effect of cerium addition on microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu alloy // Transactions of The Indian Institute of Metals. — 2009. — Vol. 62, Issue 6. — P. 539-543.
8. J. Gröbner, D. Mirkovic, and R. Schmid-Fetzer, Thermodynamic Aspects of the Constitution, Grain Refining, and Solidification

Enthalpies of Al-Ce-Si Alloys // Metall. Mater. Trans. A. – 2004. – V. 35. – P. 33-49.

9. Шеметев Г.Ф., Аллюминиевые сплавы: составы, свойства, применение. Учебное пособие по курсу «Производство отливок из сплавов цветных металлов». Часть I (Электронный ресурс). Санкт-Петербург, 2012. – 155 с.

10. Шевченко А.А. Химическое сопротивление неметаллических материалов и защита от коррозии. М.: Колос, 2006. – 248 с.

11. Ганиев И.Н., Абулаков А.П., Джайлов Дж.Х., Алиев Ф.А., Рашидов А.Р. Коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («АЛДРЕЙ») с оловом в среде электролита NaCl. // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2019. – Т. 22. – № 2. – С. 128-134.

12. Ганиев И.Н., Зокиров Ф.Ш., Сангов М.М., Бердиев А.Э. Кинетика окисления алюминиевого сплава АК12М2, модифицированного барием в твёрдом состоянии // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2020. – № 55 (81). – С. 28-33.

13. Ганиев И.Н., Абулаков А.П., Джайлов Дж.Х., Ганиева Н.И., Якубов У.Ш. Влияние добавок свинца на анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («АЛДРЕЙ») в среде электролита NaCl // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. – 2020. – № 2. – С. 109-113.

14. Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Назарова М.Т., Курбонова М.З. Влияние добавок калия на температурную зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2019. – Т. 75, № 4. – С. 16-22.

15. Ганиев И.Н., Саидова Ф.Р., Худойбердизода С.У., Савдуллоева С.С., Джайлов 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.

References

1. Beletsky, V. M. (2005). *Aluminum alloys. Composition, properties, technology, application*. Handbook. V.M. Beletsky, G.A. Krivov; Under general ed. acad. I.N. Fridlyander. Kyiv: KOMINTEKH. (in Russ.)

2. 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.)

3. 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.)

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

5. Prach, E. L., Mikhalekov, K. V. (2014). Development of a new cast alloy of the Al–Mg–Si–Mn system with the addition of Li. *Foundry production*, (7), 13-15. (in Russ.)

6. Shikun, X., Rongx, I. Y., Zhi, G., Xiang, X., Chagen, H., and Xiuyan, G. (2010). Effects of Rare Earth Ce on Casting Properties of Al-4.5Cu Alloy, *Adv. Mater. Res.*, 136, 1-4.

7. Chaubey, A. K., Mohapatra, S., Jayasankar, K., Pradhan, S. K., Satpati, B., Sahay, S. S., Mishra, B. K. and Mukherjee, P. S. (2009). Effect of cerium addition on microstructure and mechanical properties of Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 62(6), 539-543.

8. J. Gröbner, D. Mirkovic, and R. Schmid-Fetzer. (2004). Thermodynamic Aspects of the Constitution, Grain Refining, and Solidification Enthalpies of Al-Ce-Si Alloys, *Metall. Mater. Trans. A*, 35, 33-49.

9. Shemetev, G. F. (2012). *Aluminum alloys: compositions, properties, application*. Textbook for the course “Production of castings from non-ferrous metal alloys.” Part I (Electronic resource). St. Petersburg. (in Russ.)

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

11. Ganiev, I. N., Abulakov, A. P., Dzhayloev, J. H., Aliev, F. A., & Rashidov, A. R. (2019). Corrosion-electrochemical behavior of aluminum conductor alloy E-AlMgSi («ALDREY») with tin in a NaCl electrolyte environment. *News*

of higher educational institutions. *Electronic materials*, 22(2), 128-134. (in Russ.)

12. Ganiev, I. N., Zokirov, F. Sh., Sangov, M. M., & Berdiev, A. E. (2020). Kinetics of oxidation of aluminum alloy AK12M2 modified with barium in the solid state. *News of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*. (55), 28-33. (in Russ.)

13. Ganiev, I. N., Abulakov, A. P., Dzhayloev, J. H., Ganieva, N. I., & Yakubov, U. Sh. (2020). The influence of lead additives on the anodic behavior of the conductive aluminum alloy E-AlMgSi ("ALDREY") in the NaCl electrolyte. *Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical sciences*, (2). 109-113. (in Russ.)

14. Ganiev, I. N., Yakubov, U. Sh., Nazarova, M. T., & Kurbonova, M. Z. (2019). The influence of potassium additives on the temperature dependence of the heat capacity and changes in the thermodynamic functions of the AB1 aluminum alloy. *Bulletin of the Kazan State Technical University named after. A.N. Tupolev*. 75(4), 16-22. (in Russ.)

15. Ganiev, I. N., Saidova, F. R., Khudoiberdizoda, S. U., Savdulloeva, S. S., Dzhayloev, J. H., & Abulkhaev, V. D. (2023). Anodic behavior of aluminum alloy AlMg5.5Li2.1Zr0.15 alloyed with calcium in NaCl electrolyte. *News of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, (2), 37-41. (in Russ.)

Информация об авторах

Ганиев Изатулло Наврузович, академик НАН Таджикистана, д.х.н., профессор, зав. лабораторией, Институт химии имени В.И. Никитина Национальной Академии Наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Саидов Мунавваршо Мирзоалиевич, ассистент, кафедра естественных наук и математики, Республиканский медицинский колледж, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Файзуллоев Убайдулло Нарзуллоевич, к.т.н., ст. преподаватель, Филиал Национального исследовательского технологического университета (НИТУ) «МИСИС» в городе Душанбе, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Ходжаназаров Хайрулло Махмудхонович, н.с., Институт химии имени В.И. Никитина НАНТ, 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 Laboratory, V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Munavvarsho M. Saidov, assistant, Department of Natural Sciences and Mathematics, Republican Medical College, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Ubaidullo N. Fayzulloev, Ph.D. in Technical Sciences, Senior lecturer, Branch of the National Research Technological University (NUST) «MISIS» in Dushanbe, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Khairullo M. Khojanazarov, Ph.D. in Technical Sciences, researcher, V.I. Nikitin Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Уважаемые коллеги!

С 15 по 17 мая 2024 года в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого (СПбПУ) пройдет **IV Международная конференция «Материалы и технологии в нефтегазовой отрасли. Коррозия»**.

Приглашаем вас принять участие в деловой программе мероприятия в качестве спикеров и слушателей.

Мероприятие нацелено на организацию взаимодействия научного и производственного сообществ. Ведущие специалисты в области материалов и технологий для нефтегазовой отрасли, машиностроения и энергетики встретятся для обсуждения актуальных проблем отрасли.

Контакты:

Организационный комитет конференции

Екатерина Чупрова (Специалист, НТК «Новые технологии и материалы», СПбПУ)

E-mail: chuprova_eo@spbstu.ru

Тел.: +7 953 370 16 40