

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 539.219.3

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-101-109

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ZN-IN

Ганиев Изатулло Наврузович ¹, Атоев Гулмурод Мирзоевич ¹, Исмонов Рустам Довудович ²,
Абдухоликова Парвина Носировна ³, Сафаров Ахрор Мирзоевич ¹

¹ ГНУ «Институт химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана»

² Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

³ Российско-Таджикский (Славянский) университет

* для корреспонденции: ganiev48@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

10 января 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

10 июня 2025 г.

Принята к публикации:

20 июня 2025 г.

Опубликована:

26 июня 2025 г.

Ключевые слова:

сплавы Zn-In, анодное поведение, потенциостатический метод, потенциал свободной коррозии, потенциалы питтингообразования и репассивации, скорость коррозии.

Аннотация.

Коррозия металлов считается одной из главных проблем для безотказной работы любого механизма. Из-за сброса химических веществ в окружающую среду детали машин подвергаются воздействиям коррозионной активности этой среды. Одним из способов защиты от такой активности является применение новых сплавов на основе цинка. Цинк занимает особенное положение в ряду металлов, которые в основном используются в промышленных целях. Простой нелегированный цинк, являющийся конструкционным материалом, в промышленности практически не применяется, его механические, физические, технологические и другие характеристики являются недостаточно благоприятными для использования. Однако дополнительное легирование цинка различными содержаниями химических элементов положительно сказывается на цинковых сплавах, при этом указанные характеристики цинковых сплавов существенно усиливаются. Поэтому большая часть получаемого цинка направляется на получение сплавов на основе цинка. Известны также различные методы напыления цинковых покрытий – газотермические и др. Использование указанных методов существенно улучшает защитные характеристики цинковых покрытий, но, тем не менее, проблема упрощения нанесения таких покрытий полностью не решена при эксплуатации металлических изделий и конструкций. Поэтому разработка новых усовершенствованных сплавов для нанесения цинковых покрытий представляет большой интерес для исследователей, разработки в основном направлены на доступность и простоту методов, в идеале методы необходимо разработать таким образом, чтобы они были похожими на способы нанесения лакокрасочных материалов. В работе приведены результаты исследования анодного поведения сплавов системы Zn-In в среде электролита NaCl. Показано, что добавка индия (0.01-0.5 мас.%) улучшает коррозионную стойкость цинка на 20%. С ростом концентрации индия в исходном сплаве потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений. Увеличение концентрации хлорид-иона в растворе NaCl способствует росту скорости коррозии сплавов, что сопровождается смещением в отрицательную область основных электрохимических потенциалов сплавов.

Для цитирования: Ганиев И.Н., Атоев Г.М., Исмонов Р.Д., Абдухоликова П.Н., Сафаров А.М. Анодное поведение сплавов системы Zn-In // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 3 (169). С. 101-109. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-101-109, EDN: HBMTHA

Введение

Цинк и его соединения занимают особое место в ряду металлов, которые активно применяются в различных отраслях промышленности и производства. В начале XIX века цинк добывался в мировом масштабе не более 900 тонн в год, однако сейчас добыча цинка в мировых масштабах превышает показатель в 10 миллионов тонн ежегодно. Цинк нашел широкое применение в современных условиях в зависимости от его сортности, для получения цинковых соединений, цинковых полуфабрикатов, сплавов на основе цинка, а также для цинкования стальных изделий [1].

Цинк широко используется в цинковании различных изделий в качестве защиты от коррозионных воздействий, кроме чистого цинка, сплавы на его основе также хорошо защищают поверхности от коррозии. Цинкованию подвергаются различные изделия – это листовая сталь, проволока, детали автомашин, приборов, трубы и различные виды арматуры. Так, в строительстве расход цинка составляет примерно 50% от всего получаемого металлического цинка и примерно 65% от оцинкованной листовой стали. Также одним из основных потребителей цинка является автомобильная промышленность, в которой используются оцинкованные листы [2, 3].

В промышленности практически не применяется нелегированный цинк, который по сравнению с легированным обладает более низкими механическими, технологическими и физическими свойствами. Поэтому для улучшения различных характеристик цинка

принято легировать его различными добавками с целью улучшения определенных заданных свойств [4-6].

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния добавки индия на анодное поведение цинка, результаты которой могут использоваться в качестве эффективных покрытий и протекторов для повышения коррозионной стойкости стальных конструкций, изделий и сооружений.

Материалы и методика эксперимента

Для изучения электрохимических свойств сплавов системы Zn-In применяли потенциостатический метод исследования. Сплавы для коррозионно-электрохимических исследований получали в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ. Сплавы цинка содержали 0,01-0,5 мас. % индия.

Исследование коррозионно-электрохимического поведения сплавов проводилось в среде электролита NaCl с концентрацией 0.03, 0.3 и 3% при скорости развертки потенциала 2мВ/с на потенциостате ПИ-50.1.1 по методикам, описанным в работах [7-14].

При электрохимических испытаниях образцы поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении электрода в исследуемый раствор ($E_{\text{св.кор.}}$ – потенциал свободной коррозии или стационарный), при котором происходит резкое возрастание тока (Рис. 1, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала -1.4 В, в результате чего происходило подщелачивание приэлектродного

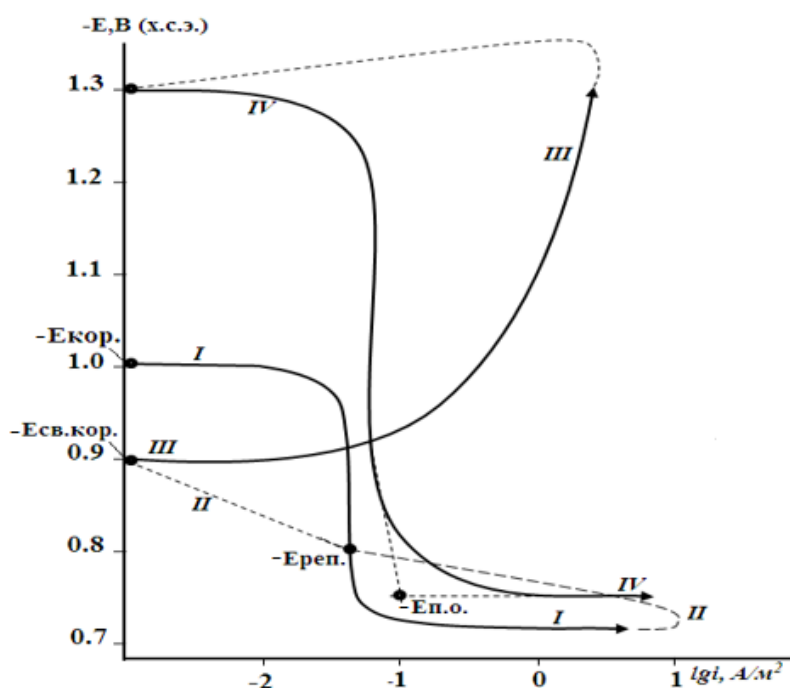


Рис. 1. Полная поляризационная кривая (2мВ/с) металлического цинка в среде электролита 3% NaCl
Fig. 1. Full polarization curve (2 mV/s) of a metal zinc in an electrolyte medium of 3% NaCl

слоя поверхности образца (Рис. 1, кривые II и III). Наконец, образцы повторно поляризовали в положительном направлении (Рис. 1, кривая IV), при этом при переходе от катодного к анодному ходу фиксируется потенциал питтингообразования. Потенциал репассивации ($E_{\text{реп.}}$) определяли по пересечению кривых I и II.

Скорость коррозии (К) как основной показатель коррозионной устойчивости рассчитывалась по формуле: $K = i_{\text{кор}} \cdot k$, где $k = 1,22 \text{ г/А} \cdot \text{час}$ (электрохимический эквивалент цинка).

Графическое изображение методики снятия поляризационных кривых показано на Рис. 1 на примере исходного цинка, в среде электролита 3% NaCl.

Как видно из Таблицы 1, с увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии сплавов цинка с индием растет, что свидетельствует о росте коррозионной стойкости цинка к воздействиям хлорид-иона. Сравнивая потенциал свободной коррозии цинка и сплавов с добавками индия в среде электролита 0.03 и 3% NaCl, можно отметить, что его значение для исходного цинка составляет -0.964 В; -1.003, а у сплавов с добавками 0.5 мас. % индия оно равняется -0.876; -0.941 В соответственно. Из данных таблицы вытекает, что рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl способствует росту скорости коррозии сплавов независимо от их химического состава, что сопровождается смещением в области отрицательных значений всех электрохимических потенциалов.

Анодные ветви поляризационных кривых

сплавов системы Zn-In в среде электролита 3,0% NaCl приведены на Рис. 2. Ход кривых показывает, что с увеличением концентрации второго компонента (индия) происходит их смещение в положительную область, при этом повышается потенциал питтингообразования у сплавов по сравнению с чистым цинком. Кривые 2 и 5 с добавками 0.01 и 0.5 мас. % индия смещены в область более положительных значений потенциалов по сравнению с кривой 1 для исходного цинка. Подобная тенденция имеет место и в других исследованных средах (Таблица 2).

Результаты коррозионно-электрохимических исследований сплавов системы Zn-In, представленные в Таблице 2, свидетельствуют о том, что добавка индия в пределах $0.01 \div 0.5 \text{ мас. \%}$ к цинку в среде электролита NaCl сдвигает потенциалы коррозии, репассивации и питтингообразования в положительную область значений; одновременно с этим повышается коррозионная стойкость цинка. Скорость коррозии имеет минимальное значение при легировании цинка 0.5 мас. % индием (на 20% меньше по сравнению с чистым цинком), что является оптимальным в коррозионном отношении (Таблица 2).

Учитывая питтинговый механизм коррозии сплавов цинка, особое внимание было уделено определению потенциала питтингообразования сплавов и влиянию концентрации легирующего элемента и электролита на данную характеристику сплавов. Возникновение питтинга связано с нарушением пассивного состояния на отдельных участках поверхности

Таблица 1. Изменение потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) сплавов системы Zn-In во времени, в среде электролита NaCl

Table 1. Change in the potential (h.s.e.) of free corrosion ($-E_{\text{v.cor.}}$, V) of alloys of the Zn-In system over time, in the NaCl electrolyte environment

Среда, NaCl	Содержание индия в цинке	Время, мин.								
		1/5	1/3	2	5	20	30	40	50	60
	мас. %									
0,03	-	1,075	1,030	0,996	0,980	0,973	0,970	0,968	0,966	0,964
	0.01	1,027	1,000	0,968	0,950	0,940	0,936	0,932	0,929	0,929
	0.05	1,018	0,990	0,960	0,939	0,926	0,920	0,915	0,913	0,913
	0.1	1,005	0,983	0,952	0,928	0,913	0,906	0,900	0,895	0,893
	0.5	1,000	0,977	0,940	0,911	0,892	0,886	0,880	0,876	0,876
0,3	-	1,110	1,077	1,025	1,004	0,993	0,989	0,984	0,982	0,980
	0.01	1,064	1,040	1,011	0,990	0,977	0,972	0,968	0,964	0,960
	0.05	1,055	1,032	1,000	0,978	0,966	0,962	0,958	0,955	0,953
	0.1	1,046	1,018	0,988	0,968	0,956	0,950	0,945	0,940	0,938
	0.5	1,036	1,012	0,980	0,956	0,940	0,932	0,927	0,923	0,923
3,0	-	1,126	1,086	1,045	1,027	1,015	1,010	1,007	1,005	1,003
	0.01	1,083	1,062	1,034	1,013	1,001	0,995	0,990	0,987	0,985
	0.05	1,076	1,049	1,016	0,993	0,980	0,975	0,971	0,968	0,968
	0.1	1,066	1,039	0,999	0,974	0,962	0,957	0,953	0,950	0,950
	0.5	1,058	1,025	0,986	0,966	0,955	0,951	0,947	0,943	0,941

металлов и сплавов в результате воздействия анионов-активаторов. На этих участках происходит ускоренное разрушение оксидных пленок, что вызывает местное активирование. Последнее может быть связано также с адсорбционным вытеснением кислорода анионами-активаторами на участках, на которых прочность связи кислорода с металлом меньше, чем с анионами.

Что касается сплавов Zn-In, то результаты, приведенные в Таблице 2, показывают, что с увеличением концентрации индия до 0.5 мас. % питтингоустойчивость сплавов увеличивается, о чем свидетельствует смещение потенциала питтингообразования в более положительную область значений.

Все цинковые сплавы так же, как и нелегированный цинк, взаимодействуют с кислородом с образованием нерастворимых ни в жидком, ни в твердом цинке оксидов. Однако следует учитывать природу оксидов, образовавшихся при окислении цинковых

сплавов. В том случае, если поверхность металла покрывается плотной оксидной пленкой, скорость окисления металла при постоянной температуре замедляется по мере увеличения продолжительности выдержки. Окисление в этом случае описывается параболическим уравнением $w^2 = \kappa \tau$, где w – количество присоединенного к металлу кислорода, отнесенное к единице поверхности образца, г/см²; τ – время выдержки, ч; κ – постоянный коэффициент, г.ч/м². Напротив, если на поверхности металла образуется рыхлая, непрочная оксидная пленка, то процесс окисления подчиняется линейному закону: $w = \kappa \tau$.

Для оценки плотности пленки и ее защитных свойств пользуются коэффициентом Пиллинга-Бэдворта (ϕ), определяемым из следующего соотношения: $\phi = V_{Me \times O_y} / (mV_{Me})$, где $V_{Me \times O_y}$ – молекулярный объем оксида; V_{Me} – атомный объем металла; m – число атомов металла. Если это отношение больше единицы ($\phi \geq 1$), то образуется сплошная плотная оксидная пленка;

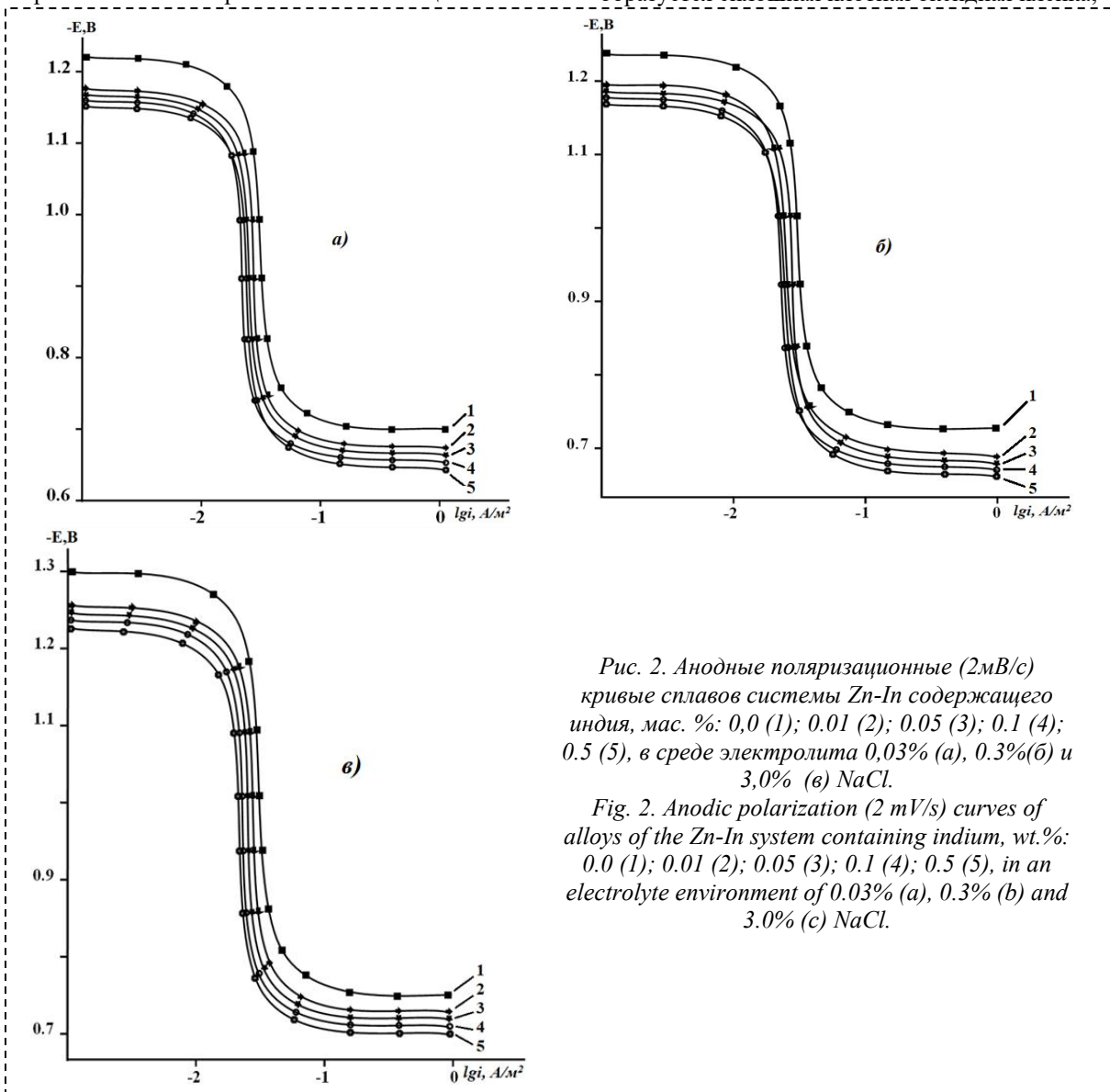


Рис. 2. Анодные поляризационные (2мВ/с) кривые сплавов системы Zn-In содержащего индия, мас. %: 0,0 (1); 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5), в среде электролита 0,03% (а), 0,3% (б) и 3,0% (в) NaCl.

Fig. 2. Anodic polarization (2 mV/s) curves of alloys of the Zn-In system containing indium, wt. %: 0.0 (1); 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5), in an electrolyte environment of 0.03% (a), 0.3% (b) and 3.0% (c) NaCl.

Таблица 2. Коррозионно-электрохимические характеристики сплавов системы Zn-In в среде электролита NaCl

Table 2. Corrosion-electrochemical characteristics of Zn-In system alloys in NaCl electrolyte environment

Среда NaCl	Содержание индия в цинке	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В				Скорость коррозии	
МАС. %		-Е _{св.кор.}	-Е _{кор.}	-Е _{по.}	-Е _{реп.}	$i_{кор} \cdot 10^2, \text{А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$
0,03	-	0,964	1,223	0,700	0,770	7,4	90,2
	0.01	0,929	1,177	0,670	0,738	6,8	82,9
	0.05	0,913	1,169	0,662	0,730	6,6	80,5
	0.1	0,893	1,161	0,654	0,722	6,4	78,0
	0.5	0,876	1,153	0,646	0,614	6,2	75,6
0,3	-	0,980	1,240	0,735	0,790	8,5	103,7
	0.01	0,972	1,196	0,694	0,749	7,9	96,3
	0.05	0,962	1,187	0,686	0,741	7,7	93,9
	0.1	0,949	1,178	0,678	0,733	7,5	91,5
	0.5	0,923	1,169	0,670	0,725	7,3	89,0
3,0	-	1,003	1,300	0,750	0,800	9,2	112,2
	0.01	0,985	1,257	0,727	0,764	8,5	103,7
	0.05	0,968	1,248	0,718	0,756	8,3	101,2
	0.1	0,950	1,239	0,709	0,748	8,1	98,8
	0.5	0,941	1,230	0,700	0,740	7,9	96,3

если же это отношение меньше единицы ($\varphi < 1$), образуется рыхлая, пористая пленка [2].

К окислению жидких металлов, в частности цинка, применимы те же положения, что и к твердым. Так, при плавке цинка на поверхности расплава образуется очень плотная, непроницаемая для кислорода оксидная пленка ($\varphi_{\text{ZnO}} = 1.44$) [2].

Легирующие элементы изменяют скорость и характер окисления цинковых расплавов в зависимости от значений плотности оксидных пленок. Элементы с $\varphi > 1$ понижают скорость окисления и способствуют образованию защитных покрытий на цинке (Al, Pb, Be, Sn, Cd); элементы с $\varphi < 1$ повышают скорость окисления цинка благодаря образованию рыхлых поверхностных слоев оксидов (Mg, Ca, Si, Li, Na).

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать сплавы Zn-In в качестве коррозионностойкого сплава (скорость коррозии которого на 20% ниже, чем исходный цинк) с оптимальным содержанием индия $0.01 \div 0.5$ мас. %.

Выводы

1. Исследованием влияния добавки индия на анодное поведение цинка показано, что легирование позволяет повысить коррозионную стойкость цинка на 20% в среде электролита NaCl.

2. Экспериментально показано, что легирование цинка индием смещает в положительную область значения потенциалов свободной коррозии, питингообразования и репассивации, что в целом благоприятно влияет на его коррозионную устойчивость.

3. Выполненные исследования по установлению анодных характеристик сплавов цинк с индием позволяют рекомендовать их в качестве базового сплава при изготовлении антифрикционных материалов и получить при этом значительный экономический эффект за счет снижения материалоемкости единицы продукции, увеличения их срока службы и надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виткин А. И., Тейндл И. И. Металлические покрытия листовой и полосовой стали. М. : Металлургия. 1971. 493 с.
2. Кечин В. А., Люблинский Е. Я. Цинковые сплавы. М. : Металлургия, 1986. 247 с.
3. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии. М. : Физматлит., 2002. 336 с.
4. Алихонова С. Д., Ганиев И. Н., Обидов З. Р. Цинк-алюминиевые сплавы Zn5Al и Zn55Al с церием, празеодимом и неодимом: монография. Душанбе : РТСУ, 2022. 156 с.
5. Одиназода Х. О., Ганиев И. Н. Сплавы алюминия с бериллием, цинком и редкоземельными металлами: монография. Душанбе: «Промэкспо», 2021. – 248 с.
6. Рахимов Ф. А., Ганиев И. Н., Обидов З. Р. Коррозия цинкового сплава Zn0.5Al с галлием, индием и таллием. Душанбе : Дониш., 2022. 116 с.
7. Ганиев И. Н., Абдухоликова П. Н., Бердиев А. Э., Алихонова С. Дж. Анодное поведение цинкового сплава ЦАМСв4-1-2,5, легированного индием, в среде электролита NaCl // Цветные металлы. 2022. № 5. С. 33–37.

8. Сиродждинов М. Э., Ганиев И. Н., Шарипов Дж. Х., Обидов З. Р. Исследование анодного поведения сплава Zn55Al с галлием, в кислых, нейтральных и щелочных средах // Вопросы материаловедения. 2022. № 3(111). С. 79–84.

9. Раджабова Ш. Г., Амини Р. Н., Ганиев И. Н., Обидов З. Р. Исследование анодного поведения сплава Zn55Al, легированного хромом, в коррозионно-активных средах // Журнал прикладной химии. 2022. Т. 95. № 4. С. 524–530.

10. Сиродждинов М. Э., Ганиев И. Н., Шарипов Дж. Х., Обидов З. Р. Влияние галлия на анодное поведение сплава Zn55Al в кислых, нейтральных и щелочных средах // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2022. № 3. С. 120–125.

11. Ганиев И. Н., Алиева Л. З., Бердиев А. Э., Алихонова С. Дж. Кинетика окисления цинкового сплава ЦАМСв4-1-2,5 с натрием в

твердом состоянии // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2022. № 1. С. 97–102.

12. Раджабова Ш. Г., Иброхимов П. Р., Ганиев И. Н., Обидов З. Р. Кинетика окисления сплава Zn55Al с молибденом в твердом состоянии // Журнал физической химии. 2023. Т. 97. № 2. С. 237–240.

13. Исмонов Р. Д., Ганиев И. Н., Одинаев Х. О., Сафаров А. М., Курбонова М. З. Влияние содержания галлия, индия и таллия на анодное поведение алюминиевого сплава АБ1 (Al+1%Be), в нейтральной среде // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 2(24). С. 22–26.

14. Ганиев И. Н., Джумъева М. Б., Ходжаназаров Х. М. Влияние добавки магния на анодную устойчивость свинцового баббита Б(РbSb15Sn10) в среде водного раствора NaCl // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 3(163). С. 109–118.

© 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 НАНТ, д.х.н., проф., зав. лабораторией ГНУ «Институт химии В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» (Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, пр. Айни, 299/2), телефон: (+992) 93-572-88-99, e-mail: ganievizatullo48@gmail.com;

Атоев Гулмурод Мирзоевич – научный сотрудник ГНУ «Институт химии им. В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана», (Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, проспект Айни, 299/2), телефон: (+992) 989090991, e-mail: atozoda91@bk.ru;

Исмонов Рустам Довудович – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» ТТУ имени академика М. С. Осими, (Республика Таджикистан, 734042, г. Душанбе, проспект акад. Раджабовых, 10), телефон: (+992) 918786898, e-mail: ird-78@mail.ru;

Абдухоликова Парвина Носировна – к.т.н., старший преподаватель кафедры химии и биологии Российско-Таджикский (Славянский) университет (Республика Таджикистан, 734025, г. Душанбе, проспект 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Мирзо Турсун-заде, 30), телефон: (+992) 918233753, e-mail: abdukholiqovar95@mail.ru;

Сафаров Ахрор Мирзоевич – д.т.н., проф., директор ГНУ «Институт химии В. И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана» (Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, пр. Айни, 299/2), телефон: (+992) 93-535-09-00, e-mail: safarovam@gmail.com.

Заявленный вклад авторов:

Изатулло Наврузович Ганиев – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Гулмурод Мирзоевич Атоев – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Рустам Довудович Исмонов – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Парвина Носировна Абдухоликова – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных,

обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Ахрор Мирзоевич Сафаров – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, выводы, написание текста, научный менеджмент, сбор и теоретический анализ данных, обзор соответствующей литературы, экспериментальные исследования, обработка и анализ их результатов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

ANODE BEHAVIOR OF Zn-In SYSTEM ALLOYS

Izatullo N. Ganiev¹, Gulmurod M. Atoev¹, Rustam D. Ismonov²,
Parvina N. Abdukholikova³, Ahror M. Safarov¹

¹ GNU "Institute of Chemistry named after. IN AND. Nikitin NAST"

² Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi

³ Russian-Tajik (Slavic) University

* for correspondence: ganiev48@mail.ru



Article info

Received:

10 January 2025

Accepted for publication:

10 June 2025

Accepted:

20 June 2025

Published:

26 June 2025

Keywords: Zn-In alloys, anodic behavior, potentiostatic method, free corrosion potential, pitting and repassivation potentials, corrosion rate.

Abstract.

Metal corrosion is considered one of the main problems for the trouble-free operation of any mechanism. Due to the release of chemicals into the environment, machine parts are exposed to the corrosive activity of this environment. One way to protect against such activity is the use of new zinc-based alloys. Zinc occupies a special position among metals that are mainly used for industrial purposes. Simple unalloyed zinc, which is a structural material, is practically not used in industry; its mechanical, physical, technological and other characteristics are not favorable enough for use. However, with additional alloying of zinc with different contents of chemical elements, it has a positive effect on zinc alloys, in this case, the indicated characteristics of zinc alloys are significantly enhanced. Therefore, most of the zinc produced is used to produce zinc-based alloys. Various methods of spraying zinc coatings are also known - gas-thermal, etc. The use of these methods significantly improves the protective characteristics of zinc coatings, but, nevertheless, the problem of simplifying the application of such coatings has not been completely resolved in the operation of metal products and structures. Therefore, the development of new and improved alloys for zinc coating is of great interest to researchers; developments are mainly aimed at the availability and simplicity of methods; ideally, methods should be developed in such a way that, so that they are similar to the methods of applying paints and varnishes. The paper presents the results of a study of the anodic behavior of alloys of the Zn-In system in a NaCl electrolyte environment. It has been shown that the addition of indium (0.01-0.5 wt.%) improves the corrosion resistance of zinc by 20%. With increasing indium concentration in the initial alloy, the potentials of corrosion, pitting and repassivation shift to a positive range of values. An increase in the concentration of chloride ion in a NaCl solution promotes an increase in the corrosion rate of alloys, which is accompanied by a shift to the negative region of the main electrochemical potentials of the alloys.

For citation: Ganiev I.N., Atoev G.M., Ismonov R.D., Abdukholikova P.N., Safarov Ah.M. Anode behavior of Zn-In system alloys. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 3(169):101-109. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-101-109, EDN: HBMTHA

REFERENCES

1. Vitkin A.I., Tejndl I.I. Metallicheskie pokrytiya listovoj i polosovoj stali. M.: Metallurgiya; 1971. 493 s.
2. Kechin V.A., Lyublinskij E.YA. Cinkovye splavy. M.: Metallurgiya; 1986. 247 s.
3. Semenova I.V., Florianovich G.M., Horoshilov A.V. Korroziya i zashchita ot korrozii. M.: Fizmatlit; 2002. 336 s.
4. Alihonova S.D., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Cink-alyuminievye splavy Zn5Al i Zn55Al s ceriem, prazeodimom i neodimom: monografiya. Dushanbe: RTSU; 2022. 156 s.
5. Odinazoda H.O., Ganiev I.N. Splavy alyuminiya s berilliem, cinkom i redkozemel'nymi metallami: monografiya. Dushanbe: «Promeksp»; 2021. 248 s.
6. Rahimov F.A., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Korroziya cinkovogo splava Zn0.5Al s galliem, indiem i talliem. Dushanbe: Donish.; 2022. – 116 s.
7. Ganiev I.N., Abduholikova P.N., Berdiev A.E., Alihonova S.Dzh. Anodnoe povedenie cinkovogo splava CAMSv4-1-2,5, legirovannogo indiem, v srede elektrolita NaCl. *Cvetnye metally*. 2022; 5:33–37.
8. Sirodzhidinov M.E., Ganiev I.N., Sharipov Dzh.H., Obidov Z.R. Issledovanie anodnogo povedeniya splava Zn55Al s galliem, v kislyh, nejtral'nyh i shchelochnyh sredah. *Voprosy materialovedeniya*. 2022; 3(111):79–84.
9. Radzhabova Sh.G., Amini R.N., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Issledovanie anodnogo povedeniya splava Zn55Al, legirovannogo hromom, v korroziionno-aktivnyh sredah // *Zhurnal prikladnoj himii*. 2022; 95(4):524–530.
10. Sirodzhidinov M.E., Ganiev I.N., SHaripov Dzh.H., Obidov Z.R. Vliyanie talliya na anodnoe povedenie splava Zn55Al v kislyh, nejtral'nyh i shchelochnyh sredah. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2022; 3:120–125.
11. Ganiev I.N., Alieva L.Z., Berdiev A.E., Alihonova S.Dzh. Kinetika okisleniya cinkovogo splava CAMSv4-1-2,5 s natriem v tverdom sostoyanii // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2022; 1:97–102.
12. Radzhabova Sh.G., Ibrohimov P.R., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Kinetika okisleniya splava Zn55Al s molibdenom v tverdom sostoyanii. *Zhurnal fizicheskoy himii*. 2023; 97(2):237–240.
13. Ismonov R.D., Ganiev I.N., Odinaev H.O., Safarov A.M., Kurbonova M.Z. Vliyanie sodержaniya galliya, indiya i talliya na anodnoe povedenie alyuminievogo splava AB1 (Al+1%Ve), v nejtral'noj srede. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2018; 2(24):22–26.
14. Ganiev I.N., Dzhum'aeva M.B., Hodzhanazarov H.M. Vliyanie dobavki magniya na anodnuyu ustojchivost' svincovogo babbita B(PbSb15Sn10) v srede vodnogo rastvora NaCl. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2024; 3(163):109–118.

© 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:

Ganiev Izatullo Navruzovich – Academician of NAST, Doctor of Chemical Sciences, Prof., Head. laboratory of the State Scientific Institution "Institute of Chemistry V.I. Nikitin National Academy of Sciences of Tajikistan" (Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Aini Ave., 299/2), phone: (+992) 93-572-88-99, e-mail: ganievizatullo48@gmail.com;

Atoev Gulmurod Mirzoevich - researcher at the State Scientific Institution "Institute of Chemistry named after. IN AND. Nikitin National Academy of Sciences of Tajikistan" (Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Aini Avenue, 299/2), tel.: (+992) 98-909-09-91; e-mail: atozoda91@bk.ru;

Ismonov Rustam Dovudovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, Metal-Cutting Machine Tools and Tools, TTU named after Academician M.S. Oshimi (Republic of Tajikistan, 734042, Dushanbe, Academician Avenue, Radzhabov, 10), tel.: (+992) 918786898, e-mail: ird-78@mail.ru;

Abdukholikova Parvina Nosirovna – Ph.D., senior lecturer at the Department of Chemistry and Biology, Russian-Tajik (Slavic) University (Republic of Tajikistan, 734025, Dushanbe, avenue 734025, Republic of Tajikistan, Dushanbe, st. Mirzo Tursun-zade, 30), phone: (+992) 918233753, e-mail: abdukholiqovap95@mail.ru;

Safarov Ahror Mirzoevich – Doctor of Chemical Sciences, Prof., direktor of the State Scientific Institution "Institute of Chemistry V.I. Nikitin National Academy of Sciences of Tajikistan" (Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Aini Ave., 299/2), phone: (+992) 93-535-09-00, e-mail: safarovam@gmail.com;

Contribution of the authors:

Izatullo N. Ganiev – research problem statement; conceptualisation of research; drawing the conclusions; writing the text, research problem statement; scientific management; data collection; data analysis, reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; data analysis; drawing the conclusions.

Gulmurod M. Atoev – formulation of the research problem, conceptualization of the study, conclusions, writing the text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental studies, processing and analysis of their results.

Rustam D. Ismonov – formulation of the research problem, conceptualization of the study, conclusions, writing the text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental studies, processing and analysis of their results.

Parvina N. Abdukholikova – formulation of the research problem, conceptualization of the study, conclusions, writing the text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental studies, processing and analysis of their results.

Ahror M. Safarov – formulation of the research problem, conceptualization of the study, conclusions, writing the text, scientific management, collection and theoretical analysis of data, review of relevant literature, experimental studies, processing and analysis of their results.

All authors have read and approved the final manuscript.

