

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МЕДИ НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВЫСОКОЧИСТОГО ЦИНКА В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

И.Н. Ганиев¹, С.С. Содикова¹, Р.Х. Саидзода², С.Дж. Алихонова³

¹ *Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан,*

² *Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в г. Душанбе, г. Душанбе, Республика Таджикистан,*

³ *Российско-Таджикский (Славянский) университет, г. Душанбе, Республика Таджикистан*

Современный научно-технический прогресс способствует развитию цветной металлургии высокими темпами. В общем объеме производства цветных металлов, которые широко используются в промышленности, цинк занимает четвертое место. Благодаря специфическим свойствам цинк и его сплавы получили широкое применение в качестве конструкционных и неконструкционных изделий. Значительная часть производимого металлического цинка расходуется для покрытия им металлических листов, изготовления полуфабрикатов и фасонных отливок. Сплавы на основе цинка в последние годы широко используются для изготовления литых протекторов, применяемых для защиты морских судов и сооружений от коррозии.

Расширение областей использования цинковых изделий ставит новые задачи перед специалистами, занимающимся производством и применением новых сплавов на основе цинка. Одной из легирующих добавок цинковых сплавов является медь. Сообщается, что медь (до 0,6 мас. %) повышает твердость и ухудшает пластичность и коррозионную стойкость цинка. Содержание меди в деформируемых сплавах цинка достигает до 5,5 мас. %.

В связи с противоречивыми фактами относительно влияния меди на коррозионную стойкость цинка нами исследовано влияние его добавок до 2,0 мас. % на коррозионно-электрохимическое поведение высокочистого цинка в среде электролита NaCl. Исследования проводились потенциостатическим методом (скорость развёртки потенциала 2 мВ/с) на импульсном потенциостате ПИ-50-1.1. Установлено, что легирование цинка медью до 2 мас. % увеличивает его коррозионную стойкость на 10–15 % в среде электролита NaCl. Рост коррозионной устойчивости сплавов системы Pb–Cu сопровождается сдвигом в положительном направлении оси ординат основных электрохимических потенциалов.

Ключевые слова: цинк, сплавы цинка с медью, потенциостатический метод, среда NaCl, скорость коррозии, электрохимические потенциалы.

Введение

Наряду с известными областями использования металлического цинка сплавы на его основе также широко применяются в различных отраслях народного хозяйства как в качестве конструкционного материала, так и неконструкционного. Как конструкционный материал цинковые сплавы широко применяются в автомобильной и авиационной промышленности, в судостроении, приборостроении и полиграфии. Все это определяется физико-химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами сплавов данной группы. Высокие литейные свойства цинковых сплавов в сочетании с их низкой температурой плавления позволяют получать отливки вы-

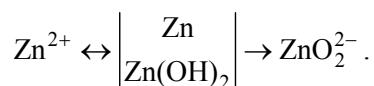
сокой прочности, характеризующиеся хорошим качеством поверхности, не требующие дополнительной обработки. Благодаря этому доля отливок, получаемых из цинковых сплавов, в общем объеме отливок, получаемых литьём под давлением, занимает важное место [1–8].

Расширение перечня цинковых изделий ставит новые требования к их свойствам и технологические задачи перед специалистами, занимающимися производством и применением цинка и его сплавов.

Цинк и его сплавы эксплуатируются в условиях воздействия природных и искусственных сред, агрессивность которых определяется целым рядом факторов. Это прежде всего

влажность, температура, содержание кислорода и других окислительных сред.

Цинк проявляет высокую коррозионную устойчивость в интервале $\text{pH} = 6 \dots 12$. В этой области на поверхности цинка образуется стабильный гидроксид $\text{Zn}(\text{OH})_2$. В кислых ($\text{pH} < 6$) и щелочных средах ($\text{pH} > 12$) скорость коррозии возрастает в результате уменьшения пассивируемости плёнки $\text{Zn}(\text{OH})_2$, растворения её и цинка с образованием ионов Zn^{2+} и ZnO_2^{2-} по реакции [8–12]



Имеющиеся в литературе сведения относительно влияния меди на коррозионные свойства цинка носят противоречивый характер. В связи с этим нами была поставлена цель исследовать влияние добавок меди на коррозионно-электрохимическое поведение высокочистого цинка марки ЦВ1 в среде электролита NaCl.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Сплавы для исследования были получены в шахтной печи электрического сопротивления СШОЛ в интервале температур 750–800 °С путём добавления в расплав цинка расчётного количества меди марки М00. Состав полученных сплавов, которые содержали 0,1–2,0 мас. % меди, контролировался в Центральной заводской лаборатории алюминиевой компании ГУП «ГалКо», а также взвешиванием шихты и полученных сплавов. При отклонении веса сплавов более чем на 1–2 отн. % синтез сплавов проводился заново.

Из полученных таким образом расплавов в металлический кокиль отливались цилиндрические образцы диаметром 10 мм и длиной 140 мм. Торцевая часть образцов служила рабочим электродом для исследования электрохимических свойств. Рабочие электроды перед исследованием зачищались наждачной бумагой, последовательно переходя от крупнозернистого к мелкозернистому наждаку (№ 2-00). Таким образом, подготовка поверхности электрода заключалась в основном в его механической обработке. На последней стадии поверхность электрода очищалась спиртом.

В настоящей работе исследования проводили в нейтральных растворах, содержащих

NaCl различной концентрации, согласно рекомендациям ГОСТ 9.017–74, т. е. в имитате морской среды с целью определения влияния хлорид-иона на коррозионно-электрохимическое поведение сплавов цинка с алюминием.

Исследование коррозионно-электрохимического поведения сплавов цинка с медью проводилось в растворе хлорида натрия с концентрацией 0,03; 0,3 и 3,0 %, с помощью потенциостата ПИ-50-1.1 с выходом на программатор ПР-8 и самописцем ЛКД-4. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянной (20 °С) с помощью термостата МЛШ-8. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, вспомогательным – платиновый электрод.

Исследование проводилось в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с. Электроды потенциодинамически анодно поляризовали от установленного значения стационарного потенциала до резкого возрастания тока (до постоянного значения тока 2 А), затем в обратном направлении до значения потенциала –1,4 В, при котором происходит восстановление оксидной плёнки. Затем образцы снова поляризовали в положительном направлении до потенциала питтингообразования ($E_{\text{п.о}}$). Из полученных потенциодинамических кривых определяли основные электрохимические характеристики сплавов: потенциал коррозии ($E_{\text{кор}}$) и ток коррозии ($i_{\text{кор}}$), потенциалы питтингообразования и репассивации ($E_{\text{реп}}$).

Величину $E_{\text{реп}}$ определяли графически как потенциал, при котором наблюдается первый перегиб на обратном ходе анодной кривой, или как потенциал, при котором происходит пересечение прямого и обратного хода анодной поляризационной кривой (рис. 1). Скорость коррозии определялась по формуле

$$K = i_{\text{кор}} \cdot k,$$

где k – электрохимический эквивалент, численное значение которого для цинка составляет 1,22 г/А·ч. Воспроизводимость измерения электрохимических потенциалов равнялась $\pm 5 \dots \pm 10$ мВ, а плотность тока коррозии составляла $(0,001–0,005) \cdot 10^{-2}$ А/м². Подробная методика потенциостатического исследования сплавов приведена в работах [13–22].

Химический состав и результаты исследования анодного поведения сплавов цинка с медью приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1–4. Приведенные в табл. 1 результаты исследования потенциала свободной коррозии сплавов

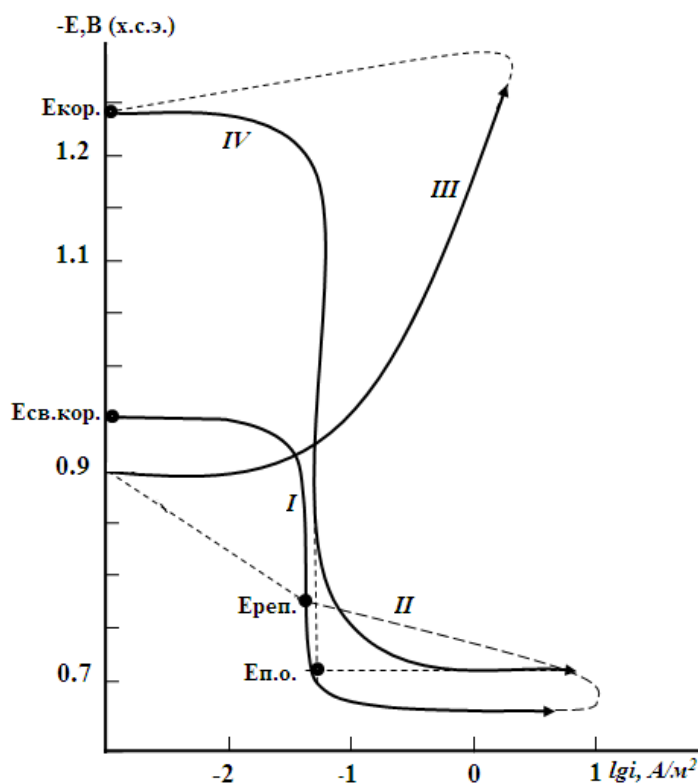


Рис. 1. Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая сплава цинка с 4 мас. % алюминия в среде электролита 3%-ного NaCl. E – потенциал, В; i – плотность тока, $A \cdot m^{-2}$

цинка с медью во времени в среде электролита NaCl различной концентрации свидетельствуют, что в первые минуты погружения сплава в раствор происходит резкое смещение потенциала в положительную область. По мере роста концентрации хлорид-иона в электролите потенциал $E_{св.кор}$ уменьшается, что сопровождается ростом скорости коррозии сплавов в среде электролита NaCl. Если сравнить $E_{св.кор}$ для сплавов цинка с медью, можно отметить, что более положительное значение потенциала характерно для сплавов в среде электролита 0,03%-ного NaCl.

Независимо от химического состава для всех исследуемых сплавов отмечено смещение потенциала в положительную область, что характеризуется формированием защитной оксидной пленки, динамика которой завершается к 35–45 мин от начала погружения образца в электролит и зависит от химического состава сплавов. Так, после одного часа выдержки электрода в электролите, представляющем собой раствор 0,03%-ного хлорида натрия, потенциал свободной коррозии чистого цинка составляет $-0,964$ В, а у легированного 2,0 мас. % меди сплава составляет $-0,910$ В. Потенциал свободной коррозии сплавов цин-

ка после одного часа выдержки в растворе 3,0%-ного хлорида натрия составляет $-1,003$ В, а у легированного 2,0 мас. % меди сплава – $0,943$ В (см. табл. 1).

Основные коррозионно-электрохимические характеристики сплавов цинка с медью (см. табл. 2) свидетельствуют, что добавки меди в количествах 0,1–2,0 мас. % сдвигают потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов в положительную область значений. Легирование медью цинка в указанном пределе уменьшает скорость его коррозии на 15–20 % в среде электролита NaCl (см. рис. 2).

Из табл. 2 следует, что с ростом концентрации меди в цинке и уменьшении концентрации хлорид-иона в электролите потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в область более положительных значений. Рост концентрации меди в цинке способствует уменьшению скорости его коррозии во всех исследованных средах. При этом повышение содержания хлорид-иона в электролите способствует росту скорости коррозии независимо от концентрации NaCl и соответственно плотности тока коррозии сплавов (см. рис. 3).

Таблица 1

Временная зависимость потенциала (х.с.э) свободной коррозии ($-E_{св.кор}$, В)
сплавов цинка с медью в среде электролита NaCl

Электролит NaCl, мас. %	Время выдержки, мин	Содержание меди в цинке, мас. %				
		–	0,1	0,5	1,0	2,0
0,03	0	1,075	1,039	1,030	1,018	1,010
	0,5	1,007	0,994	0,990	0,973	0,966
	2	0,996	0,980	0,974	0,959	0,952
	4	0,985	0,968	0,960	0,946	0,937
	5	0,980	0,962	0,954	0,940	0,931
	10	0,976	0,957	0,948	0,935	0,925
	30	0,970	0,950	0,939	0,929	0,917
	50	0,966	0,945	0,934	0,924	0,912
0,3	0	1,110	1,058	1,049	1,035	1,026
	0,5	1,048	1,019	1,005	0,992	0,986
	2	1,025	1,003	0,991	0,978	0,972
	4	1,010	0,991	0,979	0,966	0,960
	5	1,004	0,985	0,973	0,961	0,954
	10	0,998	0,979	0,967	0,956	0,949
	30	0,989	0,970	0,957	0,948	0,940
	50	0,982	0,963	0,950	0,942	0,932
3,0	0	1,126	1,070	1,059	1,048	1,038
	0,5	1,060	1,035	1,022	1,009	0,999
	2	1,045	1,023	1,010	0,997	0,985
	4	1,033	1,012	0,998	0,985	0,973
	5	1,027	1,007	0,992	0,980	0,967
	10	1,021	1,002	0,987	0,974	0,961
	30	1,010	0,994	0,977	0,964	0,951
	50	1,005	0,988	0,969	0,958	0,945
60	1,003	0,986	0,967	0,958	0,943	

Таблица 2

Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э.)
сплавов цинка с медью в среде электролита NaCl

Электролит NaCl, мас. %	Содержание меди в цинке, мас. %	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{св.кор}$	$-E_{кор}$	$-E_{п.о}$	$-E_{рп}$	$i_{кор} \cdot 10^2$ А/м ²	$K \cdot 10^3$ г/м ² ·ч
0,03	–	0,964	1,223	0,700	0,770	0,074	88,8
	0,1	0,944	1,200	0,685	0,756	0,070	84,0
	0,5	0,932	1,190	0,676	0,747	0,067	80,4
	1,0	0,922	1,180	0,667	0,730	0,065	78,0
	2,0	0,910	1,170	0,656	0,722	0,063	75,6
0,3	–	0,980	1,240	0,735	0,790	0,085	102,0
	0,1	0,960	1,220	0,720	0,772	0,081	97,2
	0,5	0,948	1,210	0,711	0,766	0,079	94,8
	1,0	0,940	1,201	0,700	0,758	0,077	92,4
	2,0	0,930	1,192	0,690	0,750	0,075	90,0
3,0	–	1,003	1,300	0,750	0,800	0,092	110,4
	0,1	0,986	1,260	0,735	0,786	0,087	104,4
	0,5	0,967	1,251	0,726	0,777	0,084	100,8
	1,0	0,958	1,240	0,715	0,768	0,081	97,2
	2,0	0,943	1,230	0,705	0,760	0,079	94,8

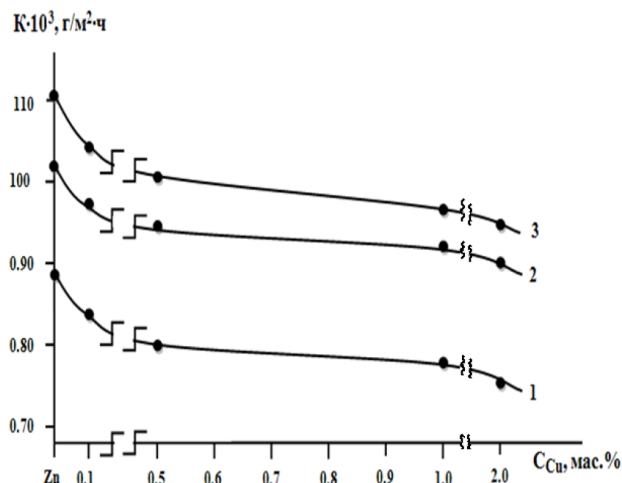


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии цинка от концентрации меди в среде электролита: 0,03 % (1); 0,3 % (2) и 3,0%-ного (3) NaCl

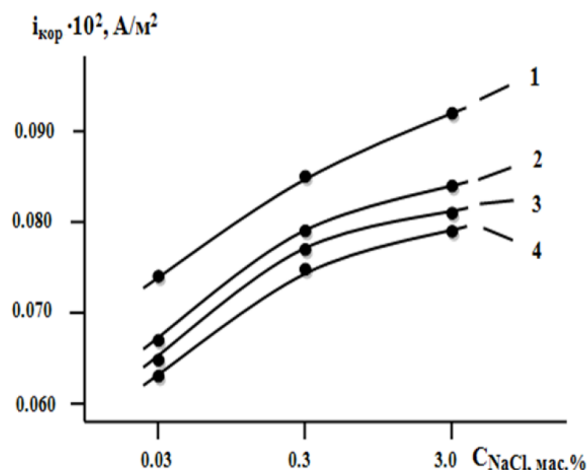


Рис. 3. Зависимость плотности тока коррозии сплавов цинка (1), содержащего меди, мас. %: 0,5 (2); 1,0 (3); 2,0 (4), от концентрации NaCl

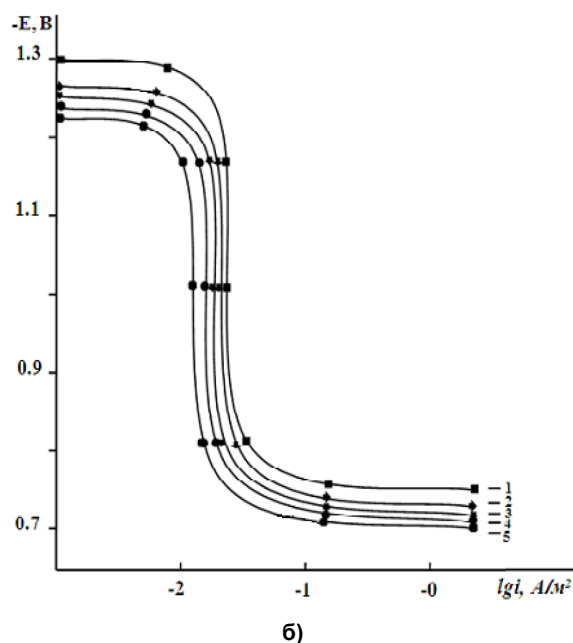
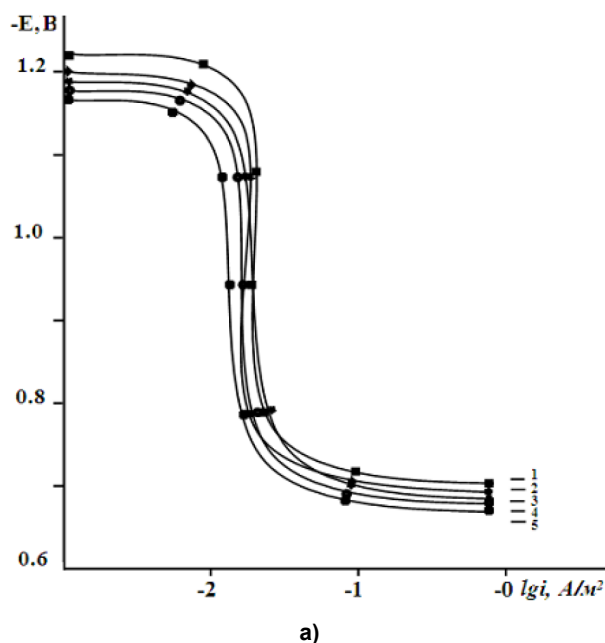


Рис. 4. Анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые сплавов цинка (1), содержащего меди, мас. %: 0,1 (2); 0,5 (3); 1,0 (4); 2,0 (5), в среде электролита 0,03 % (а) и 3%-ного (б) NaCl

На рис. 4 представлены анодные ветви потенциодинамических поляризационных кривых сплавов цинка с медью в координатах $E - \lg i$ в среде электролита NaCl. Кривые 2–5, относящиеся к легированным 0,1–2,0 мас. % меди цинковым сплавам, характеризуются положительным значением потенциалов коррозии и питтингообразования по сравнению с кривой 1 для чистого цинка. Это указывает на относительно низкую скорость анодной коррозии легированных медью сплавов цинка.

Выводы

1. Потенциостатическим методом при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение сплавов цинка с медью в среде электролита NaCl. Показано, что добавка 2,0 % меди снижает скорость коррозии цинка на 10–15 %. От концентрации электролита NaCl скорость коррозии сплавов увеличивается на 10–12 %.

2. Установлено, что легирование цинка медью смещает в область положительных значений потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов в среде электролита NaCl.

3. Улучшение коррозионной стойкости цинка на 10–15 % в результате его легирования медью до 2,0 мас. % позволяет снизить

толщину защитного покрытия на оцинкованной стали также на 10 % при одинаковых условиях эксплуатации оцинкованных изделий. При объеме использования 10 000 т

цинка в год 10%-ная экономия составляет 1000 т. При стоимости 1 т цинка 4000 долл. США 10%-ная экономия цинка составляет 4 млн долл. США.

Литература

1. Kiliñçeker, G. *Electrochemical behaviour of zinc in chloride and acetate solutions* / G. Kiliñçeker, H. Galip // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2009. – Vol. 45, – P. 232–240. DOI: 10.1134/S2070205109020191
2. Muller, C. *Some Peculiarities in the Codeposition of Zinc–Nickel Alloys* / C. Muller, M. Sarret, M. Benballa // *Electrochim. Acta*. – 2001. – No. 46 (18). – P. 2811–2817. DOI: 10.1016/s0013-4686(01)00493-5
3. Rajappa, S.K. *Chemical treatment of zinc surface and its corrosion inhibition studies* / S.K. Rajappa, T.V. Venkatesha, B.M. Praveen // *Bulletin of Materials Science*. – 2008. – Vol. 31, no. 1. – P. 37–41. DOI: 10.1007/s12034-008-0007-3
4. Dutra, C.A.M. *Electrochemical Behavior and Corrosion Study of Electrodeposits of Zn and Zn–Fe–Co on Steel* / C.A.M. Dutra, E.N. Codaro, R.Z. Nakazato // *Materials Sciences and Applications*. – 2012. – Vol. 3, no. 6. – P. 348–354. DOI: 10.4236/msa.2012.36050
5. *Electrochemical evaluation of zinc and magnesium alloy coatings deposited on electrogalvanized steel by PVD* / H.L. Myeong, W.K. Yeon, M.L. Kyung et al. // *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. – 2013. – No. 23. – P. 876–880. DOI: 10.1016/s1003-6326(13)62542-x
6. Алиев, Дж.Н. *Цинк-алюминиевые защитные покрытия нового поколения. Физико-химические свойства цинк-алюминиевых сплавов с щелочноземельными металлами* / Дж.Н. Алиев, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Германия: Издат. дом LAP LAMBERT Acad. Publ., 2013. – 129 с.
7. Обидов, З.Р. *Физикохимия цинк-алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами* / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев. – Душанбе: Андалеб Р, 2015. – 334 с.
8. Кечин, В.А. *Цинковые сплавы* / В.А. Кечин, Е.Я. Люблинский. – М.: Металлургия, 1986. – 247 с.
9. Amini R.N., Obidov Z.R., Ganiev I.N., Mohamad R.B. *Potentiodynamical research of Zn–Al–Mg alloy system in the neutral ambience of NaCl electrolyte and influence of Mg on the structure*. // *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*. – 2012. – Vol. 2, no. 2. – P. 110–114. DOI: 10.4236/jsemat.2012.22017
10. *Anodic Behavior of Zn–Al–Be Alloys in NaCl Solution and the Influence of Be on Structure* / R.N. Amini, Z.R. Obidov, I.N. Ganiev, R.B. Mohamad // *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*. – 2012. – Vol. 2, no. 2. – P. 127–131. DOI: 10.4236/jsemat.2012.22020
11. Amini R.N., Nizomov Z., Razazi M., Ganiev I.N., Obidov Z.R. *Potentiodynamical research of Zn–Al–Mg alloy system in the neutral ambience of NaCl electrolyte and influence of Mg on the structure* // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2012. – Vol. 28, no. 2. – P. 841–846. DOI: 10.4236/jsemat.2012.22017
12. *Galfan I and Galfan II doped with calcium, corrosion resistant alloys* / R.N. Amini, M.B. Irani, I.N. Ganiev, Z.R. Obidov // *Oriental Journal of Chemistry*. – 2014. – Vol. 30, no. 3. – P. 969–973. DOI: 10.13005/ojc/300307
13. Алиев, Дж.Н. *Влияние добавок железа и никеля на твердость сплавов Zn5Al и Zn55Al* / Дж.Н. Алиев, И.Н. Ганиев, З.Ф. Нарзуллоев // *Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования*. – 2018. – № 1 (41). – С. 85–91. DOI: 10.1134/s0044461819110082
14. *Анодное поведение сплава Al+2.18 % Fe, легированного стронцием, в среде электролита NaCl* / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, У.Ш. Якубов // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. – 2019. – № 1 (27). – С. 42–46.
15. *Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl* / И.Н. Ганиев, У.Ш. Якубов, М.М. Сангов, А.Х. Хакимов // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. – 2017. – № 4 (22). – С. 57–62.
16. Якубов, У.Ш. *Электрохимическая коррозия сплава АЖ5К10, модифицированного барием, в среде электролита NaCl* / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов // *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. – 2018. – № 43 (69). – С. 21–25.
17. *Стационарные потенциалы и анодное поведение сплава АЖ 4.5, легированного висмутом* / Ф.Р. Одинаев, И.Н. Ганиев, А.Г. Сафаров, У.Ш. Якубов // *Известия Санкт-Петербургского*

государственного технологического института (технического университета). – 2017. – № 38. – С. 8–12.

18. О коррозионном потенциале сплава АЖ5К10, модифицированного щелочноземельными металлами, в среде электролита NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, Н.И. Ганиева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. – Т. 16, № 3. – С. 109–119. DOI: 10.18503/1995-2732-2018-16-3-109-119

19. Влияние добавок кальция на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10 в водных растворах NaCl / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов, Р.Н. Амини // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 5–15. DOI: 10.14529/met180301

20. Анодное поведение свинцового сплава ССу3 с кадмием в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, М.С. Аминбекова, Б.Б. Эшов и др. // Вестник Казанского технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 1. – С. 42–46.

21. Бердиев, А.Э. Влияние иттрия на анодные характеристики сплава АК1М2 / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, Х.Х. Ниёзов // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2014. – Т. 17, № 5. – С. 224–227.

22. Электрохимические потенциалы цинкового сплава ЦАМг4,5-2 с лантаном в среде электролита NaCl / И.Ш. Идиев, М.Т. Норова, И.Н. Ганиев, С.Дж. Алихонова // Вестник Казанского технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 64–67.

Ганиев Изатулло Наврузович, д-р хим. наук, профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана, заведующий лабораторией, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан; ganiev48@mail.ru.

Содикова Сафаргул Саидхomidовна, PhD-докторант, Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, г. Душанбе, Республика Таджикистан.

Саидзода Рахимджон Хамро, д-р техн. наук, доцент, директор, Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в г. Душанбе, г. Душанбе, Республика Таджикистан; rahsai@mail.ru.

Алихонова Сурайё Джамшедовна, канд. хим. наук, старший преподаватель кафедры химии и биологии, Российско-Таджикский (Славянский) университет, г. Душанбе, Республика Таджикистан; thuraya86@inbox.ru.

Поступила в редакцию 5 сентября 2020 г.

DOI: 10.14529/met200402

INFLUENCE OF COPPER ADDITIVES ON THE CORROSION-ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF HIGH PURITY ZINC IN THE MEDIUM OF ELECTROLYTE NaCl

I.N. Ganiev¹, ganiev48@mail.ru,

S.S. Sodikova¹,

R.Kh. Saidzoda², rahsai@mail.ru,

S.J. Alikhonova³, huraya86@inbox.ru

¹ V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan,

² Branch of the National University of Science and Technology "MISiS" in Dushanbe, Dushanbe, Republic of Tajikistan,

³ Russian-Tajik Slavonic University, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Modern scientific and technological progress contributes to the development of non-ferrous metallurgy at a high rate. In the total production of non-ferrous metals, which are widely used in industry, zinc ranks fourth. Due to the specific properties, zinc and its alloys are widely used as structural

and non-structural products. A significant part of the metal zinc produced is used for covering metal sheets with them, for the manufacture of semi-finished products and shaped castings. In recent years, zinc-based alloys have been widely used for the manufacture of cast protectors used to protect marine vessels and structures from corrosion.

The expansion of the fields of use of zinc products pose new challenges for specialists engaged in the production and use of new zinc-based alloys.

One of the alloying additions of zinc alloys is copper. It is reported that copper (up to 0.6 wt.%) increases the hardness and degrades the ductility and corrosion resistance of zinc. The copper content in wrought zinc alloys reaches up to 5.5 wt%.

Due to conflicting facts regarding the effect of copper on the corrosion resistance of zinc. In this regard, we investigated the effect of its additives up to 2.0 wt.% on the corrosion-electrochemical behavior of high-purity zinc in an electrolyte NaCl. The studies were carried out by a potentiostatic method (potential sweep rate 2 mV/s) on a PI-50-1.1 pulse potentiostat. It was found that alloying zinc with copper up to 2 wt.% increases its corrosion resistance by 10–15%, in an electrolyte environment of NaCl. The increase in the corrosion resistance of alloys of the Pb–Cu system is accompanied by a shift in the positive direction of the ordinate of the main electrochemical potentials.

Keywords: zinc, zinc–copper alloys, potentiostatic method, NaCl environment, corrosion rate, electrochemical potentials.

References

1. Kiliñçeker, G., Galip, H. Electrochemical behaviour of zinc in chloride and acetate solutions. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2009, vol. 45, pp. 232–240. DOI: 10.1134/S2070205109020191
2. Muller C., Sarret M., Benballa M. Some Peculiarities in the Codeposition of Zinc–Nickel Alloys. *Electrochim. Acta*, 2001, no. 46 (18), pp. 2811–2817. DOI: 10.1016/s0013-4686(01)00493-5
3. Rajappa S.K., Venkatesha T.V., Praveen B.M. Chemical treatment of zinc surface and its corrosion inhibition studies. *Bulletin of Materials Science*, 2008, vol. 31, no. 1, pp. 37–41. DOI: 10.1007/s12034-008-0007-3
4. Dutra C.A.M., Codaro E.N., Nakazato R.Z. Electrochemical Behavior and Corrosion Study of Electrodeposits of Zn and Zn–Fe–Co on Steel. *Materials Sciences and Applications*, 2012, vol. 3, no. 6, pp. 348–354. DOI: 10.4236/msa.2012.36050
5. Myeong H.L., Yeon W.K., Kyung M.L., Seung H.L., Kyung M.M. Electrochemical evaluation of zinc and magnesium alloy coatings deposited on electrogalvanized steel by PVD. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 2013, no. 23, pp. 876–880. DOI: 10.1016/s1003-6326(13)62542-x
6. Aliev J.N., Obidov Z.R., Ganiev I.N. *Tsink-alyuminiyevyye zashchitnyye pokrytiya novogo pokoleniya. Fiziko-khimicheskiye svoystva tsink-alyuminiyevykh splavov s shchelochnozemel'nyimi metallami* [New generation zinc-aluminum protective coatings. Physicochemical properties of zinc-aluminum alloys with alkaline earth metals]. Germany: Ed. house LAP LAMBERT Acad. Publ., 2013. 129 p.
7. Obidov Z.R., Ganiev I.N. *Fizikokhimiya tsink-alyuminiyevykh splavov s redkozemel'nyimi metallami* [Physicochemistry of zinc-aluminum alloys with rare earth metals]. Dushanbe, “Andaleb R” Publ., 2015. 334 p.
8. Kechin V.A., Lyublinsky E.Ya. *Tsinkovyye splavy* [Zinc alloys]. Moscow, Metallurgy Publ., 1986. 247 p.
9. Amini R.N., Obidov Z.R., Ganiev I.N., Mohamad R.B. Potentiodynamical research of Zn–Al–Mg alloy system in the neutral ambience of NaCl electrolyte and influence of Mg on the structure. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 110–114. DOI: 10.4236/jsemat.2012.22017
10. Amini R.N., Obidov Z.R., Ganiev I.N., Mohamad R.B. Anodic Behavior of Zn–Al–Be Alloys in NaCl Solution and the Influence of Be on Structure. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 2012, vol. 2, no 2, pp. 127–131. DOI: 10.4236/jsemat.2012.22020
11. Amini R.N., Nizomov Z., Razazi M., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Potentiodynamical research of Zn–Al–Mg alloy system in the neutral ambience of NaCl electrolyte and influence of Mg on the structure. *Oriental Journal of Chemistry*, 2012, vol. 28, no. 2, pp. 841–846. DOI: 10.4236/jsemat.2012.22017
12. Amini R.N., Irani M.B., Ganiev I.N., Obidov Z.R. Galfan I and Galfan II doped with calcium, corrosion resistant alloys. *Oriental Journal of Chemistry*, 2014, vol. 30, no. 3, pp. 969–973. DOI: 10.13005/ojc/300307

13. Aliev J.N., Ganiev I.N., Narzulloev Z.F. [Influence of iron and nickel additions on the hardness of Zn5Al and Zn55Al alloys]. *Polytechnic Bulletin. Engineering Research Series*, 2018, no. 1 (41), pp. 85–91. (in Russ.) DOI: 10.1134/s00444461819110082
14. Dzhalyoyev J.Kh., Ganiev I.N., Amonov I.T., Yakubov U.Sh. Anodic behavior of the Al + 2.18% Fe alloy doped with strontium in the NaCl electrolyte environment. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*, 2019, no. 1 (27), pp. 42–46. (in Russ.)
15. Ganiev I.N., Yakubov U.Sh., Sangov M.M., Khakimov A.Kh. Anodic behavior of the AZh5K10 alloy modified with strontium in an electrolyte NaCl environment. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*, 2017, no. 4 (22), pp. 57–62. (in Russ.)
16. Yakubov U.Sh., Ganiev I.N., Sangov M.M. Electrochemical corrosion of barium modified AZh5K10 alloy in NaCl electrolyte environment. *Bulletin of the Saint Petersburg State Technological Institute (Technical University)*, 2018, no. 43 (69), pp. 21–25. (in Russ.)
17. Odinaev F.R., Ganiev I.N., Safarov A.G., Yakubov U.Sh. Stationary potentials and anodic behavior of bismuth-doped AZh 4.5 alloy. *Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)*. 2017, no. 38, pp. 8–12. (in Russ.)
18. Yakubov U.Sh., Ganiev I.N., Sangov M.M., Ganieva N.I. On the corrosion potential of the AZh5K10 alloy modified with alkaline-earth metals in an electrolyte NaCl environment. *Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2018, vol. 16, no. 3, pp. 109–119. (in Russ.) DOI: 10.18503/1995-2732-2018-16-3-109-119
19. Yakubov U.Sh., Ganiev I.N., Sangov M.M., Amini R.N. Influence Addition of Calcium on Corrosion-Electrochemical Behavior of Alloy AF5S10 in Aqueous Solutions NaCl. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 5–15. (in Russ.) DOI: 10.14529/met180301
20. Ganiev I.N., Aminbekova M.S., Eshov B.B., Yakubov U.Sh., Mulloeva N.M. Anodic behavior of the lead alloy CCu3 with cadmium in the NaCl electrolyte environment. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 42–46. (in Russ.)
21. Berdiev A.E., Ganiev I.N., Niyozov Kh.Kh. Influence of yttrium on the anodic characteristics of the AK1M2 alloy. *Izvestiya vuzov. Electronic engineering materials*, 2014, vol. 17, no. 5, pp. 224–227. (in Russ.)
22. Idiev I.Sh., Norova M.T., Ganiev I.N., Alikhonova S.J. Electrochemical potentials of zinc alloy TsAMg4.5-2 with lanthanum, in an electrolyte NaCl environment. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 64–67. (in Russ.)

Received 5 September 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Влияние добавок меди на коррозионно-электрохимическое поведение высокочистого цинка в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, С.С. Содикова, Р.Х. Саидзода, С.Дж. Алихонова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 14–22. DOI: 10.14529/met200402

FOR CITATION

Ganiev I.N., Sodikova S.S., Saidzoda R.Kh., Alikhonova S.J. Influence of Copper Additives on the Corrosion-Electrochemical Behavior of High Purity Zinc in the Medium of Electrolyte NaCl. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 14–22. (in Russ.) DOI: 10.14529/met200402