

**КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ  
ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА АК1 НА ОСНОВЕ  
ОСОБО ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ С МАГНИЕМ  
В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl**

**Исмоилова Маишура Хусниддиновна,**  
докторант (PhD) физико-технического  
факультета ГОУ «ХГУ имени Б.  
Гафурова» (Таджикистан, Худжанд)

**РАФТОРИ КОРРОЗИОНЌ –  
ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ ХЎЛАИ АК1 ДАР  
АСОСИ АЛЮМИНИИ ХОЛИС БО МАГНИИ  
ДАР МУЌИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИИ NaCl**

**Исмоилова Маишура Хусниддиновна,**  
докторанти (PhD) факултети физикаю  
техникаи МДТ “ДДХ ба номи акад.  
Б.Гафуров” (Тоҷикистон, Хуҷанд)

**CORROSIVE-ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR  
OF AK1 ALLOY BASED ON ESPECIALLY PURE  
ALUMINUM WITH MAGNESIUM, IN AN  
ELECTROLYTE ENVIRONMENT NaCl**

**Ismoilova Mashhura Khusniddinovna,**  
doctoral student (PhD) of the Faculty of  
Physics and Technology, SEI “KhSU named  
after acad. B. Gafurov” (Tajikistan, Khujand)

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав АК1, магний, потенциостатический метод, электролит NaCl, электрохимические потенциалы, скорость коррозии, плотность тока коррозии

Особо чистый алюминий обладает хорошей коррозионной стойкостью благодаря образованию барьерной оксидной пленки, которая прочно связана с его поверхностью (пассивный слой) и в случае повреждения немедленно восстанавливается в большинстве сред; т.е. репассивируется. Этот защитный оксидный слой особенно стабилен в нейтральных растворах большинства негалогенидных солей, что обеспечивает превосходную устойчивость к точечной коррозии. Тем не менее, в растворах на открытом воздухе, содержащих галогенид-ионы, наиболее распространенным из которых является Cl<sup>-</sup>, алюминий подвержен питтинговой коррозии. В работе представлены результаты исследования влияния магния на коррозионно-электрохимические характеристики сплава АК1 на основе особо чистого алюминия в среде электролита NaCl. Исследование сплавов проведено потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/сек на потенциостате ПИ-50.1.1. Установлено, что легирование сплава АК1 магнием повышает его коррозионную устойчивость на 20 – 40%. С увеличением концентрации магния основные электрохимические потенциалы смещаются в положительный область значений, а от концентрации электролита NaCl в отрицательном направлении оси ординат.

**Вожаҳои калидӣ:** хӯлаи алюминии АК1, магний, усули потенциостатикӣ, электролит NaCl, потенциалҳои электрохимиявӣ, суръати зангзанӣ, зичии ҷараёни зангзанӣ

Дар мақола оид ба рафтори хӯрдашавии электрохимиявӣи хӯлаи АК1 дар асоси алюминии хом бо магний дар муҳити электролиии NaCl таҳқиқот анҷом шудааст. Қайд мешавад, алюминийи холис аз сабаби ҳосилкунии плёнкаи оксиди барерӣ, ки ба сатҳи он (қабати пассив) сахт пайваст аст ва дар сурати вайрон шуданиш дар аксар муҳит фавран барқарор мешавад, ба зангзаниш хуб тобовар мебошад; ки пассиватсия қарда мешавад. Ин қабати оксиди муҳофизатӣ махсусан дар маҳдудҳои нейтралӣи аксар намакҳои галогенӣ устувор буда, ба зангзаниш нуқтавӣи муқовимати фаъол нишон медиҳад. Аммо дар маҳдудҳои ҳавои кушод, ки дорои ионҳои галогенидӣ, ки аз ҳама васеъ паҳншудаи онҳо Cl<sup>-</sup> мебошад, алюминий ба зангзаниш питтингӣи осебпазир аст. Хӯлаҳо бо истифода аз усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати потенциалӣи 2 мВ/с дар потенциостати ПИ-50.1.1 омӯхта шуданд. Муқаррар қарда шудааст, ки легиронии хӯлаи АК1 бо магний ба зангзанӣ устувориш онро 20-40% зиёд мекунад. Бо афзоиши консентратсияи магний қиматҳои потенциалҳои асосии электрохимиявӣ ба диапазони мусбат ва аз консентратсияи электролитҳои NaCl ба самти манфии меҳвари ординатаҳо мегузаранд.

**Key words:** aluminum alloy AK1, magnesium, potentiostatic method, NaCl electrolyte, electrochemical potentials, corrosion rate, corrosion current density

Highly pure aluminum has good corrosion resistance due to the formation of a barrier oxide film that is firmly bonded to its surface (passive layer) and which, if damaged, is immediately restored in most environments; those. is repassivated. The relevant protective oxide layer is particularly stable in neutral solutions of most non-halide salts, providing excellent resistance to pitting corrosion. However, in open air

*solutions containing halide ions, the most common of which is Cl<sup>-</sup>, aluminum is susceptible to pitting corrosion. The article presents the results of a study of the influence of magnesium on the corrosion-electrochemical characteristics of the AK1 alloy based on highly pure aluminum in a NaCl electrolyte environment. The alloys were studied using the potentiostatic method in potentiodynamic mode with a potential sweep rate of 2 mV/sec on a PI-50.1.1 potentiostat. It is established that alloying the AK1 alloy with magnesium increases its corrosion resistance by 20–40%. With increasing magnesium concentration, the main electrochemical potentials shift to the positive range of values, and from the NaCl electrolyte concentration to the negative direction of the ordinate axis.*

Современную промышленность невозможно представить без алюминия. Когда-то этот легкий металл серебристо-белого цвета использовался для изготовления ювелирных украшений и был по цене эквивалентен серебру из-за сложности его получения.

Резкое снижение себестоимости алюминия позволило применять его в различных сферах промышленности, начиная от изготовления посуды и заканчивая космическими технологиями. При этом реально в промышленности используется не первичный чистый алюминий, а сплавы на его основе. Применение сплавов позволяет получить материал со специальными характеристиками [1].

Алюминий и алюминиевые сплавы пользуются популярностью в разных сферах. Особо чистый алюминий отличается пластичностью, лёгкостью, имеет хорошую коррозионную устойчивость, так как покрыт прочной оксидной плёнкой, которая защищает металл от воздействия агрессивных факторов внешней среды. Но данный материал достаточно мягкий и имеет низкую прочность (по сравнению со сталью). Чтобы изменить (улучшить) механические, физические и химические характеристики алюминия, к нему добавляют металлические и неметаллические элементы и получают более качественные смеси. Сплавы на основе особо чистого алюминия сохраняют все достоинства металла, при этом обладают повышенной прочностью, более высокой стойкостью к ударным и переменным нагрузкам, а также другими заданными параметрами. Свойства алюминиевых сплавов зависят от количества легирующих элементов и примесей. Наиболее распространенными легирующими элементами в составе алюминиевых сплавов являются: магний, медь, марганец, цинк и кремний [2].

Алюминий и его сплавы обладают, кроме вышеперечисленных, ещё одним достоинством, которое выделяет этот материал среди других металлов – это возможностью многократной его переплавки, поэтому алюминиевые изделия имеют низкую цену и при этом остаются долговечными и технологичными [3, с.4].

Коррозионно – электрохимическое поведение сплава особо чистого алюминия АК1 легированного магнием особенно в агрессивных средах, требуют дополнительного изучения.

Цель настоящей работы состоит в исследовании влияния добавки магния на коррозионно - электрохимическое поведение сплава АК1 (Al + 1%Si) на основе особо чистого алюминия в среде электролита NaCl.

**Материалы и методы исследования.** Электрохимические, особенно потенциостатические, методы давно и плодотворно применяют для изучения коррозии металлов [5]. При помощи этих методов удалось получить информацию столь большой ценности, что её смело можно отнести к наиболее существенным достижениям коррозионной науки. С применением потенциостатических методов стало возможным оценить роль электродного потенциала в поведении металла (композита) при пассивации и в пассивном состоянии. Оказалось, что зависимость скорости растворения от потенциала является важнейшей коррозионной характеристикой металла, которая может быть использована как для предсказания его коррозионной стойкости, так и для выбора способа защиты в заданных условиях [5].

Сплавы для исследования получали в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 750 – 850°C используя алюминий марки А5N (99,999%), алюминивно-кремниевую лигатуры с 10,0 мас.% Si и магния металлического гранулированного марки ХЧ (ТУ-112-40). Лигатуры алюминия с магнием предварительно синтезировались в вакуумной печи сопротивления. Взвешивание шихты производили на аналитических весах АРВ-200 с точностью  $0.1 \cdot 10^{-6}$  кг. В случае отклонения массы шихты от массы полученного сплава более чем 2% отн. Плавку повторяли. Сплавы отливали в графитовой изложнице диаметром  $8 \pm 0,5$  мм и длиной  $120 \pm 0,5$  мм [6].

Нерабочая часть образцов изолировалась смолой (смесь 50% канифоли и 50% парафина). Рабочей поверхностью служил торец электрода. Перед погружением образца в рабочий раствор

его торцевую часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжировали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянная 20°C с помощью термостата МЛШ-8.

Исследование влияние магния на коррозионно-электрохимическое поведение сплав АК1 на основе особо чистого алюминия проводилось в среде электролита NaCl с концентрацией 0.03; 0.3 и 3% в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/сек на потенциостате ПИ-50.1.1 по методике, описанной в работах [6-11].

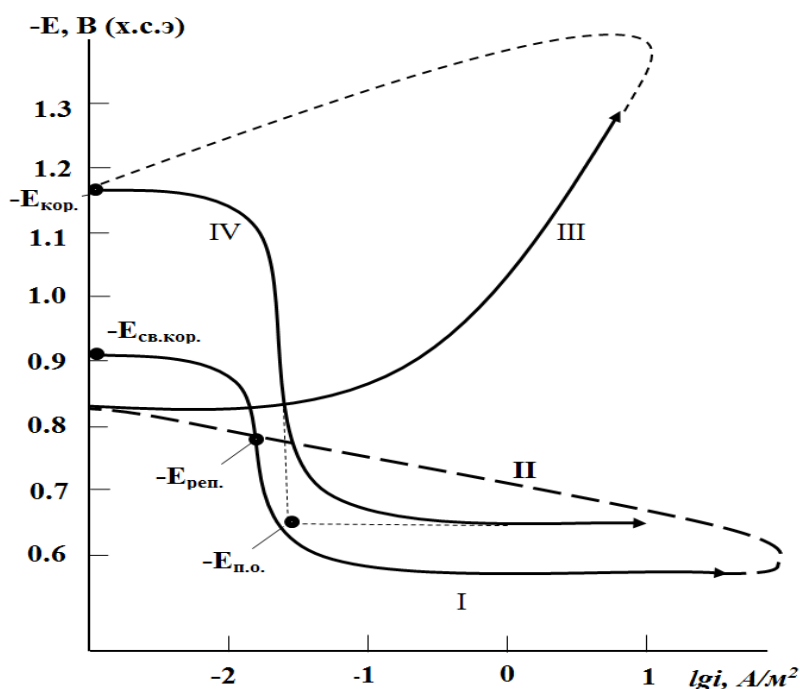
При электрохимических исследованиях, полученные образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис.1, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала – 1.350 мВ (рис.1, кривая II, III), в результате чего происходило подщелачивание при электродного слоя поверхности образцов. Наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении (рис.1, кривая IV).

Расчет тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафеловской константы равной  $\beta_k = 0,12\text{В}$ . Скорость коррозии (K) определяли по току коррозии ( $i_{\text{кор.}}$ ) по формуле:

$$K = i_{\text{кор.}} \cdot k,$$

где  $k = 0.335 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$  электрохимический эквивалент алюминия [5, 6].

**Результаты и их обсуждение.** Результаты исследования влияния магния на коррозионно – электрохимическое поведение сплава особо чистого алюминия представлены в табл. 1 и 2 и на рис. 2-5. При изучении анодного поведения сплавов были построены зависимости потенциала свободной коррозии от времени в течение часа выдержки образцов в электролите NaCl. По результатам исследований можно сделать вывод, что добавка магния к сплаву АК1 на основе особо чистого алюминия смещает электродный потенциал в положительную область (табл.1).



**Рисунок 1** – Полная поляризационная (2мВ/с) кривая сплава особо чистого алюминия АК1, в среде электролита 3.0 %-ного NaCl

Из данных табл. 1, следует, что после одного часа выдержки в растворе 3,0%-ного хлорида натрия потенциал свободной коррозии сплава АК1 на основе особо чистого алюминия составляет –0,935В, а у сплава, содержащего 0.5 мас.% магния составляет – 0.857 В.

Результаты коррозионно-электрохимических исследований сплава АК1 на основе особо чистого алюминия легированного магнием обобщены в таблице 2. Видно, что потенциалы питтингообразования и репассивации при легировании магнием также растут. Смещение электрохимических потенциалов в положительную область сопровождается уменьшением плотности тока коррозии (табл. 2). С увеличением концентрации хлорид-иона все

электрохимические потенциалы смещаются в отрицательную область, что свидетельствует о снижении коррозионной стойкости сплава АК1 на основе особо чистого алюминия с ростом агрессивности коррозионной среды. Данная зависимость подтверждается расчётом скорости коррозии (K) посредством плотности тока коррозии ( $i_{кор.}$ ) из катодной ветви потенциодинамических кривых. Как видно из табл. 2, добавки магния до 0,5 мас.% во всех исследованных средах плавно снижают скорость коррозии исходного сплавов, в частности в среде 0,03 %-го NaCl от  $0,77 \cdot 10^{-3}$  до  $0,40 \cdot 10^{-3}$  г/м<sup>2</sup>·ч. На рисунке 2 представлены анодные ветви поляризационных кривые сплава АК1 на основе особо чистого алюминия легированного магнием, в среде электролита хлористого натрия. Как видно, анодные кривые, относящиеся к сплавам, содержащим магний, располагаются в области положительных потенциалов, т. е. левее кривой базового сплава АК1, что свидетельствуют об их анодной устойчивости. Из полученных анодных кривых были определены величины потенциалов коррозии, питтингообразования и пассивации, которые обобщены в табл. 2. В разбавленных хлорид-ионами растворах сплавы, легированные магнием, более пассивны и показывают высокую устойчивость к коррозионным разрушениям, о чём свидетельствует сдвиг E<sub>кор</sub> и E<sub>п.о.</sub> в область положительных потенциалов по мере разбавления раствора (табл. 2). На рисунке 3 приведена зависимость скорость коррозии сплава АК1 от концентрации магния в среде электролита NaCl. Видно, что добавка магния к исходному сплаву уменьшают скорость его коррозии на 20-40%, во всех исследованных средах. Зависимость плотности тока коррозии исследованных сплавов от концентрации электролита NaCl представлены на рисунке 4. При этом увеличение концентрации электролита NaCl в растворе способствует росту скорости коррозии сплавов. Минимальное значение скорости коррозии и плотность тока коррозии наблюдается у сплава АК1 содержащего 0.5 мас.% магния. Соответственно, указанный состав является более устойчивым к питтинговой коррозии.

**Таблица 1. Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{св.кор.}$ , В) сплава АК1 на основе особо чистого алюминия с магнием, в среде электролита NaCl**

Среда NaCl, мас. %	Время выдержки, минут	Содержание магния в сплаве, мас. %				
		0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0.03	0	0.980	0.894	0.875	0.868	0.959
	0.5	0.900	0.844	0.832	0.822	0.810
	5	0.839	0.806	0.797	0.783	0.773
	10	0.830	0.799	0.790	0.777	0.766
	20	0.823	0.792	0.783	0.771	0.760
	30	0.816	0.786	0.776	0.765	0.754
	40	0.810	0.780	0.770	0.760	0.748
	50	0.805	0.775	0.765	0.755	0.743
0.3	0	1.066	0.976	0.962	0.952	0.935
	0.5	0.995	0.924	0.909	0.899	0.882
	5	0.920	0.883	0.870	0.857	0.843
	10	0.909	0.876	0.863	0.850	0.836
	20	0.900	0.870	0.856	0.843	0.829
	30	0.893	0.865	0.850	0.837	0.823
	40	0.886	0.860	0.844	0.832	0.818
	50	0.880	0.856	0.840	0.828	0.814
3.0	0	1.105	1.037	1.026	1.005	0.993
	0.5	1.060	0.980	0.969	0.950	0.935
	5	0.992	0.938	0.923	0.907	0.890
	10	0.975	0.930	0.915	0.900	0.883
	20	0.966	0.922	0.907	0.893	0.876
	30	0.957	0.916	0.901	0.886	0.870
	40	0.945	0.910	0.895	0.880	0.865
	50	0.940	0.905	0.890	0.874	0.860

	60	0.935	0.900	0.885	0.870	0.857
--	----	-------	-------	-------	-------	-------

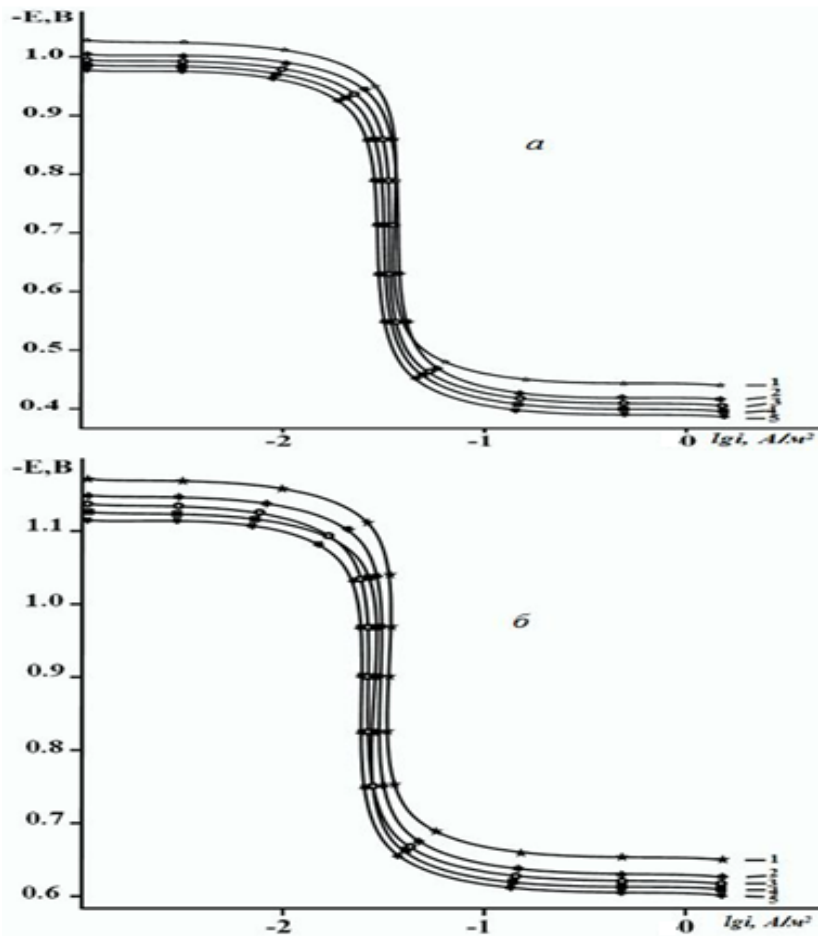


Рисунок 2. Потенциодинамические анодные поляризационные (2мВ/с) кривые сплава АК1 на основе особо чистого алюминия (1), содержащего магний, мас.‰: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5), в среде электролита 0,03% (а) и 3,0 %- ного (б) NaCl.

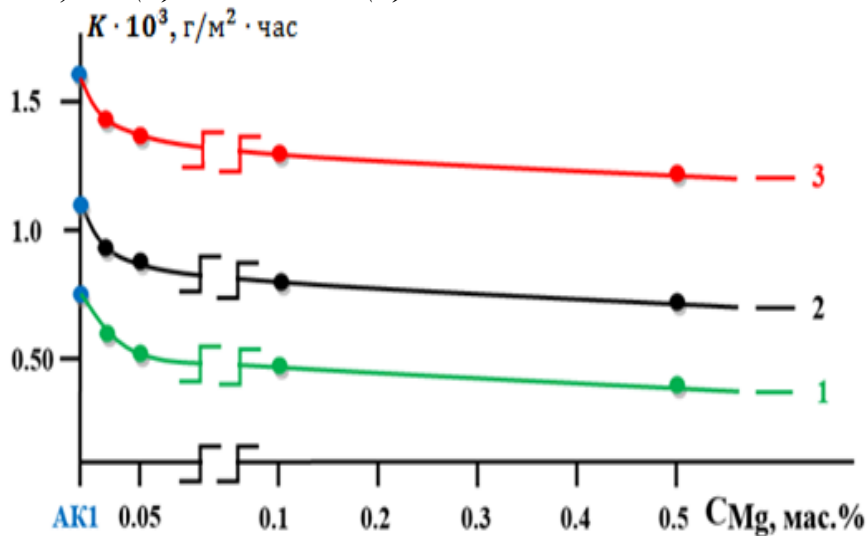


Рисунок 3. Зависимость скорости коррозии сплава АК1 на основе особо чистого алюминия с магнием, в среде электролита 0.03% (1), 0.3% (2) и 3.0% -ного (3) NaCl

Таблица 2. Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АК1 на основе особо чистого алюминия с магнием, в среде электролита NaCl

Среда NaCl	Содержания магния в сплаве АК1, мас. %	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{кор.}}$	$-E_{\text{по.}}$	$-E_{\text{р.п.}}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ час}$
0,03	-	0.803	1.030	0.439	0.644	0.23	0.77
	0.01	0.772	1.005	0.418	0.627	0.18	0.60
	0.05	0.761	0.995	0.409	0.618	0.16	0.53
	0.1	0.750	0.986	0.399	0.609	0.14	0.46
	0.5	0.739	0.977	0.390	0.600	0.12	0.40
0,3	-	0.876	1.095	0.478	0.658	0.33	1.11
	0.01	0.852	1.055	0.452	0.626	0.28	0.93
	0.05	0.838	1.046	0.443	0.617	0.26	0.87
	0.1	0.825	1.037	0.434	0.608	0.24	0.80
	0.5	0.810	1.028	0.425	0.599	0.22	0.73
3,0	-	0.935	1.170	0.650	0.770	0.48	1.61
	0.01	0.900	1.149	0.628	0.748	0.43	1.44
	0.05	0.885	1.140	0.619	0.739	0.41	1.37
	0.1	0.870	1.130	0.609	0.730	0.39	1.30
	0.5	0.857	1.121	0.600	0.721	0.37	1.23

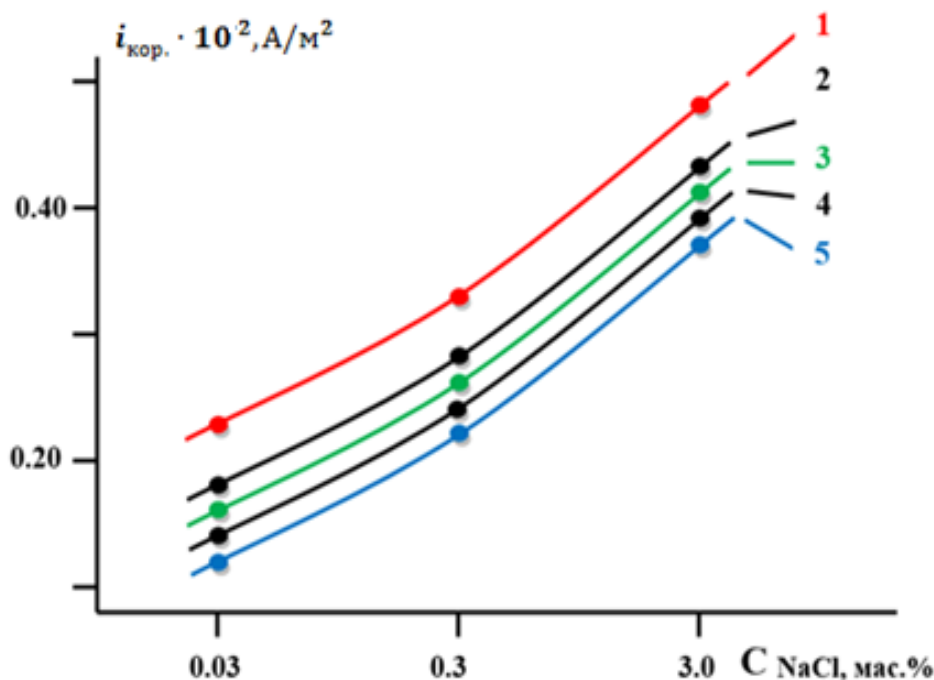


Рисунок 4. Зависимость плотности тока коррозии сплава АК1 на основе особо чистого алюминия (1), содержащего магний мас. %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0,5 (5) от концентрации NaCl.

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано влияние магния на коррозионно – электрохимическое поведение сплава АК1 на основе особо чистого алюминия, в среде электролита NaCl.

2. Установлено, что добавка магния до 0.5 мас. % увеличивает коррозионную устойчивость исходного сплава АК1 на 20–40%. При этом, повышается питтингоустойчивость

сплавов, о чем свидетельствует сдвиг потенциалов питтингообразования и коррозии в положительную область значений, что объясняется ростом степени легированности алюминиевого твердого раствора магнием.

3. Выявлено, что с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите NaCl в 2-3 раза возрастает скорость коррозии сплава АК1 с магнием.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Синявский, В.С. Коррозия и защита алюминиевых сплавов [Corrosion and protection of aluminum alloys]/В.С.Синявский, В.Д.Волков, В.Д.Калинин. – М.: Металлургия, 1979, - 640 с.
2. Луц А.Р.Алюминий и его сплавы Aluminum and its alloys. Самарский государственный технический университет/ А.Р.Луц, А.А.Суслина.- Самара: 2018. – 81 с.
3. Ashtari, P., H. Tezuka, et al. "Influence of Sr and Mn additions on intermetallic compound morphologies in Al-Si-Cu-Fe cast alloys." // Materials Transactions. 2003. 44(12): pp. 2611-2616.
4. Battocchi, D., A. M. Simoes, et al. "Comparison of testing solutions on the protection of Al-alloys using a Mg-rich primer." // Corrosion Science. 2006. 48(8): pp. 2226-2240.
5. Фрейман, Л.И. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите/Л.И.Фрейман, В.А.Макаров., И.Е.Брыксин// Под ред. акад. Я.М. Колотыркина. – Л.: Химия, 1972, -С. 182-240.
6. Ганиев, И.Н.Коррозия двойных сплавов алюминия с элементами периодической системы/ И.Н.Ганиев, Т.М.Умарова, З.Р.Обидов//– Германия. Издательский дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, - 208 с.
7. Ганиев, И.Н.Влияние бериллия на анодное поведение сплава Al+1,0 % Si в среде электролита NaCl/И.Н.Ганиев,С.Э.Отаджонов,М.Х.Исмоилова,М.Р.Рахимов//Вестник Саратовский государственный технический университет. 2022. № 4 (95). С. 56-66.
8. Ганиев И.Н., Алиева Л.З., Бердиев А.Э., Алихонова С.Д. Коррозионно-электрохимическое поведение цинкового сплава ЦАМСВ4-1-2.5, легированного калием, в среде электролита NaCl/И.Н.Ганиев,Л.З.Алиева,А.Э.Бердиев, С.Д.Алихонова//Вестник Санкт-Петербургский университет технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. -2021.-№3. С.55-60.
9. Ганиев И.Н.Влияние висмута на коррозионно- электрохимическое поведение алюминиевого сплава АЖ5К10 в среде электролита NaCl/И.Н.Ганиев,Н.Р.Нуров, У.Ш.Якубов, К.Ботуров // Вестник Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Машиностроение, материаловедение. 2022. №1 (24). С. 62-69.
- 10.Наботов Ш.Д., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Азимов Х.А. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlZr<sub>0,1</sub>, легированного натрием, в среде водного раствора NaCl/ Ш.Д.Наботов, И.Н.Ганиев, А.Г.Сафаров, Х.А.Азимов//Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2023. № 2 (218). С. 74-80.
- 11.Ганиев, И.Н., Рахматуллоева Г.М., Зокиров Ф.Ш., Эшов Б.Б. Влияние добавок натрия на анодное поведение алюминиевого проводникового сплава AlTi<sub>0,1</sub>, в среде электролита NaCl / И.Н.Ганиев, Г.М.Рахматуллоева, Ф.Ш.Зокиров, Б.Б. Эшов//Физикохимия поверхности и защита материалов. 2023. Т. 59. № 4. С.451-455.

#### REFERENCES:

1. Sinyavsky V.S., Volkov V.D., Kalinin V.D. Corrosion and protection of aluminum alloys. – M.: Metallurgy, 1979. 640 p.
2. Luts A.R., Suslina A.A. Aluminum and its alloys. Samara: Samara State Technical University. 2018. 81 p.
3. Ashtari, P., H. Tezuka, et al. "Influence of Sr and Mn additions on intermetallic compound morphologies in Al-Si-Cu-Fe cast alloys." // Materials Transactions. 2003. 44(12): P.2611-2616.
4. Battocchi, D., A. M. Simoes, et al. "Comparison of testing solutions on the protection of Al-alloys using a Mg-rich primer." // Corrosion Science. 2006. 48(8): P.2226-2240.
5. Freiman L.I., Makarov V.A., Bryksin I.E. Potentiostatic methods in corrosion research and electrochemical protection / Ed. acad. Ya.M. Kolotyrykina. – L.: Chemistry, 1972. P.182-240.
6. Ganiev I.N., Umarova T.M., Obidov Z.R. Corrosion of double aluminum alloys with elements of the periodic system. - Germany. Publishing house: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, 208 p.

7. Ganiev I.N., Otadzhonov S.E., Ismoilova M.Kh., Rakhimov M.R. The influence of beryllium on the anodic behavior of the Al+1.0% Si alloy in the NaCl electrolyte // Bulletin of Saratov State Technical University. 2022.- №4 (95). P.56-66.
8. Ganiev I.N., Alieva L.Z., Berdiev A.E., Alikhonova S.D. Corrosion-electrochemical behavior of zinc alloy TsAMSV4-1-2.5, alloyed with potassium, in an NaCl electrolyte // Bulletin of St. Petersburg University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical sciences. -2021. №3. P.55-60.
9. Ganiev I.N., Nurov N.R., Yakubov U.Sh., Boturov K. The influence of bismuth on the corrosion-electrochemical behavior of aluminum alloy AZh5K10 in an NaCl electrolyte // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanical engineering, materials science. 2022. #1 (24). P.62-69.
10. Nabotov Sh.D., Ganiev I.N., Safarov A.G., Azimov Kh.A. Anodic behavior of aluminum conductor alloy AlZr0.1, alloyed with sodium, in an aqueous solution of NaCl // News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical science. 2023. # 2 (218). P.74-80.
11. Ganiev I.N., Rakhmatulloeva G.M., Zokirov F.Sh., Eshov B.B. Influence of sodium additives on the anodic behavior of aluminum conductor alloy AlTi0.1 in NaCl electrolyte // Physical chemistry of surfaces and protection of materials. 2023. V. 59. # 4. P.451-455.