

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 669.017:620.197

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-109-119>

О КОРРОЗИОННОМ ПОТЕНЦИАЛЕ СПЛАВА АЖ5К10, МОДИФИЦИРОВАННОГО ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ, В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Якубов У.Ш.¹, Ганиев И.Н.¹, Сангов М.М.², Ганиева Н.И.²

¹Институт химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан

²Таджикский технический университет им. М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан

Аннотация

Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и бариям. Показано, что потенциал свободной коррозии (стационарный потенциал) сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ba) с ростом концентрации щелочноземельного металла изменяется в положительном направлении. От концентрации хлорид-иона смешивается в отрицательном направлении оси ординат, в среде электролита NaCl. Потенциалы питтингообразования и репассивации сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием по мере роста концентрации хлорид-иона в электролите NaCl уменьшаются. Увеличение концентрации модифицирующего компонента в сплаве АЖ5К10 способствует росту величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации хлорид-иона. Плотность тока коррозии и соответственно скорость коррозии сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ba) с ростом добавок кальция, стронция и бария уменьшается. От концентрации хлорид-иона ток коррозии увеличивается. Данная зависимость характерна для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств модифицирующего компонента.

Ключевые слова: сплав АЖ5К10, кальций, стронций, барий, потенциостатический метод, электрохимическая коррозия, анодное поведение, потенциал коррозии, скорость коррозии.

Введение

Сплавы алюминия нашли широкое применение в качестве материала для деталей машин различного назначения: от бытовых приборов до космических аппаратов. При эксплуатации они подвергаются различным видам нагрузки, в том числе и температурной. Исходя из этого, возникает необходимость в исследовании комплекса свойств сплавов алюминия [1].

К настоящему времени значительно возросли требования к новым конструкционным материалам с высокими эксплуатационными характеристиками, в частности коррозионной устойчивостью. Следовательно, разработка новых конструкционных материалов на основе сплавов алюминия с малыми добавками модифицирующих элементов, обладающих повышенными показателями коррозионной устойчивой, является требованием времени и новой техники. Большой

интерес к сплавам системы Al-Fe связан с высоким содержанием во вторичном алюминии железа (~5–6%) и тем, что он не находит широкого применения из-за низких прочностных характеристик [1–4].

Примеси железа в алюминии оказывают существенное влияние на качество алюминия. С ростом их количества значительно ухудшаются коррозионная стойкость. При этом уменьшается электропроводность и пластичность, повышается прочность металла. Такой металл по примесям не укладывается в рамках требований ГОСТ 11069-2001 на первичный алюминий. Соответственно такой металл не находит потребителя, за исключением того, что используется для раскисления и дегазации стали [5].

Отсюда разработка прецизионных сплавов на основе такого металла путём его легирования третьим элементом является актуальной задачей. Подобный подход позволяет превратить некондиционный металл в нужный и полезный продукт для техники. Иногда для блокировки отри-

© Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М., Ганиева Н.И., 2018

цательного влияния железа сплавы легируют марганцем в количествах 0,5–1%. В фазе FeAl_3 до 1/10 часть атомов железа может замещаться атомами марганца. В результате образуется новая фаза $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_3$. Кристаллы указанной фазы имеют более компактную форму в отличие от игольчатой структурной фазы FeAl_3 [5–9].

Нами для изменения формы кристаллов интерметаллида в эвтектике ($\alpha\text{-Al}+\text{FeAl}_3$), т.е. ее модификации в качестве модифицирующего элемента были выбраны металлические кальций, стронций и барий как поверхностно активные компоненты тройного сплава. Подобный подход позволяет разработать новые композиции сплавов. Выбор исходного сплава $\text{Al}+5$ мас.% $\text{Fe}+10$ мас.% Si (АЖ5К10) объясняется тем, что данный состав содержит эвтектику ($\alpha\text{-Al}+\text{FeAl}_3$), $\alpha\text{-Al}+\text{Si}+\text{FeSiAl}_5$ в системе Al-Fe-Si и примыкает к алюминиевому углу системы. Согласно разным источникам сплав плавится при температуре 670–727°C [5].

Цель работы заключается в исследовании анодного поведения сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, стронцием и барием, в среде электролита NaCl . Сплавы эвтектического состава обладают рядом преимуществ, главными из которых являются минимальные значения интервала кристаллизации и соответственно усадочных характеристик. Полученные в данной работе результаты послужат научной основой для синтеза новых анодных сплавов для протекторной защиты стальных конструкций. В качестве объекта исследования был выбран сплав АЖ5К10 состава (мас. %): $\text{Al}+5\%\text{Fe}+10\%\text{Si}$. Указанный сплав подвергался модификации кальцием, стронцием и барием в количествах от 0,01 до 1,0 мас. %.

Характеристика исходного сплава АЖ5К10

Из диаграммы состояния системы Al-Fe-Si вытекает, что в равновесии с алюминиевым твердым раствором в данной системе находятся две тройные фазы Fe_2SiAl_8 (α) и FeSiAl_5 (β). Третья фаза FeSi_2Al_4 (γ) кристаллизуется в сплавах, богатых кремнием, и фаза FeSiAl_3 (δ) выделяется при кристаллизации сплавов с высоким содержанием железа и кремния [10]. С алюминиевым твердым раствором в системе Al-Fe-Si в равновесии находятся тройные фазы Fe_2SiAl_8 (α) и FeSiAl_5 (β) (рис. 1, а). Сплав АЖ5К10 согласно химическому составу располагается в тройной области $\alpha\text{-Al}+\text{Si}+\text{FeSiAl}_5$. Установлено, что фаза FeSiAl_5

(25,61%Fe и 12,82%Si) при кристаллизации выделяется в виде иероглифов или в виде пластин. Гомогенная область для указанной фазы находится в пределах 25,1–30,1%Fe и 12,2–15,1%Si. Интерметаллид FeSiAl_5 имеет моноклинную решетку с параметрами $a=0,612$ нм и $c=0,415$ нм; $\alpha=91^\circ$; $\delta=3,3\div3,35$ г/см³ и HV 5800 МП/м² [10].

Ликвидус системы Al-Fe-Si, при высоких содержаниях алюминиях представлен на рис. 1, б согласно работе [10]. В области до 6,1%Fe и 12,2%Si в системе имеет место пять областей первичной кристаллизации: α -твердый раствор на основе алюминия FeAl_3 , тройные фазы Fe_2SiAl_8 , FeSiAl_5 . Судя по проекции поверхности ликвидуса алюминиевого угла системы Al-Fe-Si (см. рис. 1, б), сплав АЖ5К10 имеет температуру плавления 727°C по [11] и 670°C по [10]. Это соответствует области первичной кристаллизации фазы Fe_2SiAl_8 . В системе протекают две перитектические реакции при 630°C по реакции $\text{Ж}+\text{FeAl}_3=\alpha\text{-Al}+\text{Fe}_2\text{SiAl}_8$ и при 612°C происходит реакция $\text{Ж}+\text{Fe}_2\text{SiAl}_8=\alpha\text{-Al}+\text{FeSiAl}_5$. Кристаллизация сплава АЖ5К10 завершается в точке тройной эвтектики по реакции $\text{Ж}=\alpha\text{-Al}+\text{Si}+\text{FeSiAl}_5$ при 576°C.

Материалы и методика исследования

Сплавы для коррозионно-электрохимических исследований получали в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ. Для этого использовали алюминий с повышенным содержанием железа (5 мас. %). Данный металл извлекался непосредственно одной из ванн алюминиевой компании ГУП «ТАлКо». Затем в расплав при температуре 750–800°C вводился кремний кристаллический из расчёта 10 мас. %. В результате получался сплав марки АЖ5К10. Расплав дегазировался таблетками «дегайзера». Затем удалялся шлак. После этого данный сплав модифицировался лигатурами алюминия с кальцием, стронцием и барием, содержащими каждый 10 мас.% щелочноzemельного металла. Предварительно лигатуры сплавлялись в вакуумной печи сопротивления типа СНВ 1.3.1/16 при избыточной атмосфере гелия 0,5 МПа. Контроль содержания железа и кремния проводился в Центральной заводской лаборатории Алюминиевой компании ГУП «ТАлКо» квантometрическим методом. Содержание щелочноzemельных металлов определялось путём перевода их в сульфаты с последующим гравиметрическим определением.

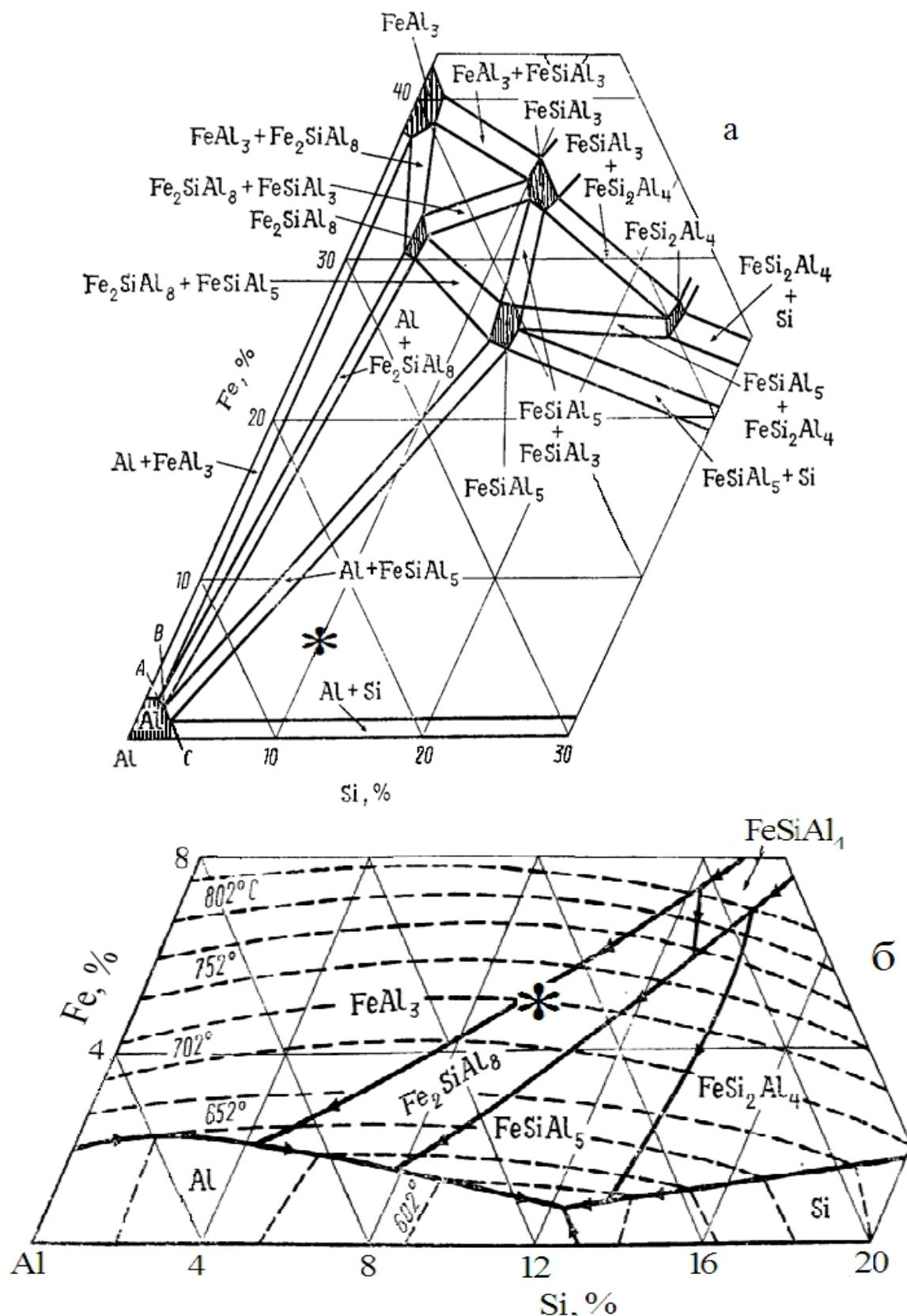


Рис. 1. Проекция поверхности ликвидуса системы Al-Fe-Si: *а*-распределение фазовых областей в твердом состоянии; *б*-ликвидус системы; * химический состав (мас.%) сплава АЖ5К10 на диаграмме

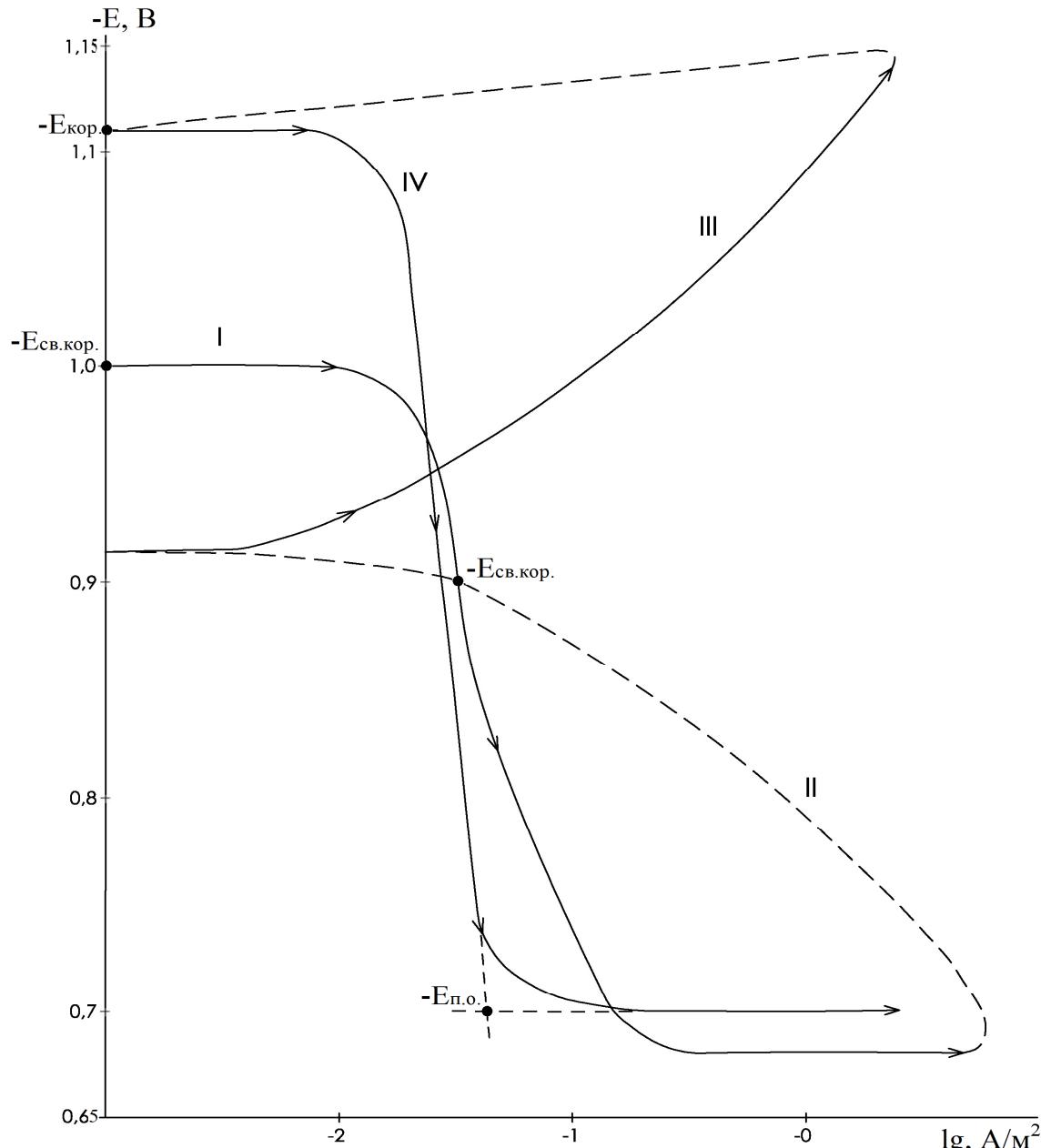


Рис. 2. Полная поляризационная (2мВ/с) кривая сплава АЖ5К10 в среде электролита 3%-ного NaCl

Исследованию подвергались сплавы, вес которых отличался от веса шихты не более чем на 1% отн. Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали стержни диаметром 8 мм и длиной 140 мм. Нерабочая часть образцов изолировалась смолой (смесь 50% канифоли и 50% парафина). Торец электрода служил рабочей поверхностью. Торцевую часть рабочего электрода защищали наждачной бумагой, полировали, обезжиривали. Далее тщательно промывали спиртом и затем погружали в электролит 0,03; 0,3 и 3%-ного NaCl (ГОСТ 4233-77).

Из анодных кривых определяли основные электрохимические параметры. На рис. 2 в качестве примера представлена полная поляризационная диаграмма сплава АЖ5К10 в среде электролита 3%-ного NaCl. Основные электрохимические характеристики сплавов определялись на полученных поляризационных кривых. Таким образом, определялись: потенциал питтингообразования ($E_{\text{п.о.}}$), потенциал и ток коррозии ($E_{\text{кор.}}$ и $i_{\text{кор.}}$). Потенциал репассивации ($E_{\text{р.п.}}$) определялся графически как первый изгиб на обратном ходе анодной кривой. Данный потенциал опре-

деляется также как точка пересечения прямого и обратного хода. Расчет тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафеловской наклонной $B_K = 0,12$ В. В нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода [5].

Скорость коррозии является функцией тока коррозии и определяется по формуле

$$K = i_{\text{кор}} \cdot k,$$

где $k = 0,335$ г/А·ч для алюминия.

В работах [5, 12–16] представлена подробная методика снятия поляризационных кривых.

Экспериментальная часть

В табл. 1 и 2 представлены результаты исследования сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ba). Потенциал свободной коррозии сплавов с ростом концентрации кальция, стронция и бария изменяется в положительном направлении оси ординат. С ростом концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии сплава АЖ5К10 уменьшается от $-0,750$ В в среде 0,03% NaCl до $-1,000$ В в среде 3%-ного NaCl (табл. 1).

Подобная зависимость характерна также для сплава АЖ5К10, модифицированного щелочноземельными металлами (ЩЗМ). При переходе от слабого электролита к более сильному электролиту, независимо от содержания модифицирующего компонента, наблюдается уменьшение величины потенциала свободной коррозии. Величины электрохимических потенциалов сплава АЖ5К10 с кальцием, стронцием и барием по мере роста концентрации хлорид-иона в электролите изменяются в более отрицательном направлении оси ординат. Рост концентрации кальция, стронция и бария способствует увеличению величины электрохимических потенциалов во всех средах независимо от концентрации хлорид-иона. Подобное поведение характерно для сплава АЖ5К10 со всеми щелочноземельными металлами. При переходе от сплава АЖ5К10 с кальцием к сплавам со стронцием и барием электрохимические потенциалы уменьшаются. При этом потенциалы изменяются в отрицательном направлении оси ординат (см. табл. 1).

Ток коррозии и соответственно скорость коррозии сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ba) с ростом концентрации хлорид-иона увеличиваются. Подобная зависимость имеет место для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств модифицирующего компонента. При переходе от сплава АЖ5К10 с кальцием к сплавам со стронцием и барием наблюдается рост скорости коррозии. Это коррелирует со свойствами самых щелочноземельных металлов. Для сплава АЖ5К10 также характерен рост скорости коррозии с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите (см. табл. 2).

Кальций и барий, проявляя сильное модифицирующее действие, эффективно измельчают микроструктуру всех фаз, составляющих основу сплавов. Измельчение микроструктуры сплавов положительно влияет на коррозионную стойкость сплавов. Из табл. 2 видно, что наименьшая скорость коррозии характерна для сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием.

Представленные на рис. 3 анодные ветви потенциодинамических кривых сплавов систем АЖ5К10-Са (Ba) в среде электролита 3% NaCl показывают, что скорость анодной коррозии модифицированных сплавов несколько меньше. Об этом свидетельствует расположение кривых, относящихся к модифицированным сплавам, в области левее кривой исходного сплава АЖ5К10 во всех исследованных средах.

Микроструктуры сплавов при увеличениях 250 и 500 крат представлены на рис. 4. Видно, что добавки кальция и стронция значительно измельчают микроструктуру исходного сплава АЖ5К10, т.е. происходит модификация не только двойных эвтектик α -Al-Si, α -Al-Al₃Fe, α -Al-Al₃Fe, тройной эвтектики α -Al+Si+FeSiAl₅, но также изменяется характер (форма) кристаллизации тройных интерметаллидов Fe₂SiAl₈ (α), FeSiAl₅ (β).

Изучение микроструктур исходного сплава АЖ5К10 и сплава, модифицированного барием, показывает его слабый модифицирующий эффект по сравнению с кальцием и стронцием. Видно, что барий также эффективно измельчает микроструктуру эвтектик, но слабо действует на характер кристаллизации тройных интерметаллидов.

Таблица 1

Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) и питтингообразования ($-E_{\text{п.о.}}$, В) сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ba) в среде электролита NaCl

Электролит NaCl, мас.%	Расчётное коли- чество кальция, стронция и ба- рия в сплаве, мас.%	Сплавы с Ca		Сплавы со Sr		Сплавы с Ba	
		$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
0,03	—	0,750	0,645	0,750	0,645	0,750	0,645
	0,01	0,621	0,530	0,618	0,486	0,614	0,500
	0,05	0,608	0,516	0,606	0,478	0,602	0,488
	0,1	0,595	0,500	0,594	0,468	0,588	0,476
	0,5	0,584	0,488	0,580	0,456	0,575	0,462
	1,0	0,576	0,476	0,570	0,444	0,564	0,450
0,3	—	0,950	0,660	0,950	0,660	0,950	0,660
	0,01	0,776	0,588	0,764	0,558	0,760	0,564
	0,05	0,767	0,572	0,758	0,544	0,752	0,550
	0,1	0,760	0,558	0,752	0,532	0,746	0,538
	0,5	0,750	0,542	0,746	0,524	0,738	0,526
	1,0	0,742	0,530	0,738	0,512	0,732	0,514
3,0	—	1,000	0,700	1,000	0,700	1,000	0,700
	0,01	0,832	0,600	0,830	0,620	0,824	0,586
	0,05	0,820	0,586	0,816	0,606	0,812	0,572
	0,1	0,808	0,578	0,804	0,592	0,800	0,560
	0,5	0,796	0,566	0,792	0,584	0,788	0,548
	1,0	0,788	0,552	0,784	0,572	0,780	0,534

Таблица 2

Зависимость скорости коррозии сплавов систем АЖ5К10-Са (Sr, Ba) от содержании кальция, стронция и бария в среде электролита NaCl

Электролит NaCl, мас.%	Расчётное коли- чество кальция, стронция и ба- рия в сплаве, мас.%	Скорость коррозии					
		сплавов с Ca		сплавов со Sr		сплавов с Ba	
		$i_{\text{кор.}} \cdot 10^{-2}$	$K \cdot 10^{-3}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^{-2}$	$K \cdot 10^{-3}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^{-2}$	$K \cdot 10^{-3}$
		A/m^2	$\Gamma/m^2 \cdot \text{ч}$	A/m^2	$\Gamma/m^2 \cdot \text{ч}$	A/m^2	$\Gamma/m^2 \cdot \text{ч}$
0,03	—	12,39	3,7	12,39	3,7	12,39	3,7
	0,01	11,39	3,4	11,72	3,5	12,06	3,6
	0,05	10,05	3,0	11,05	3,3	11,39	3,4
	0,1	9,04	2,7	10,05	3,0	10,38	3,1
	0,5	8,04	2,4	9,38	2,8	9,04	2,7
	1,0	7,03	2,1	8,71	2,6	8,37	2,5
0,3	—	15,42	4,6	15,42	4,6	15,42	4,6
	0,01	12,73	3,8	14,74	4,4	14,07	4,2
	0,05	11,30	3,4	14,07	4,2	13,06	3,9
	0,1	10,05	3,0	13,06	3,9	12,39	3,7
	0,5	9,04	2,7	12,39	3,7	11,30	3,4
	1,0	8,04	2,4	11,30	3,4	10,38	3,1
3,0	—	19,43	5,8	19,43	5,8	19,43	5,8
	0,01	17,42	5,2	18,76	5,6	18,42	5,5
	0,05	16,08	4,8	17,76	5,3	17,75	5,3
	0,1	15,07	4,5	16,75	5,0	17,08	5,1
	0,5	14,07	4,2	16,08	4,8	16,08	4,8
	1,0	13,40	4,0	15,41	4,6	15,07	4,5

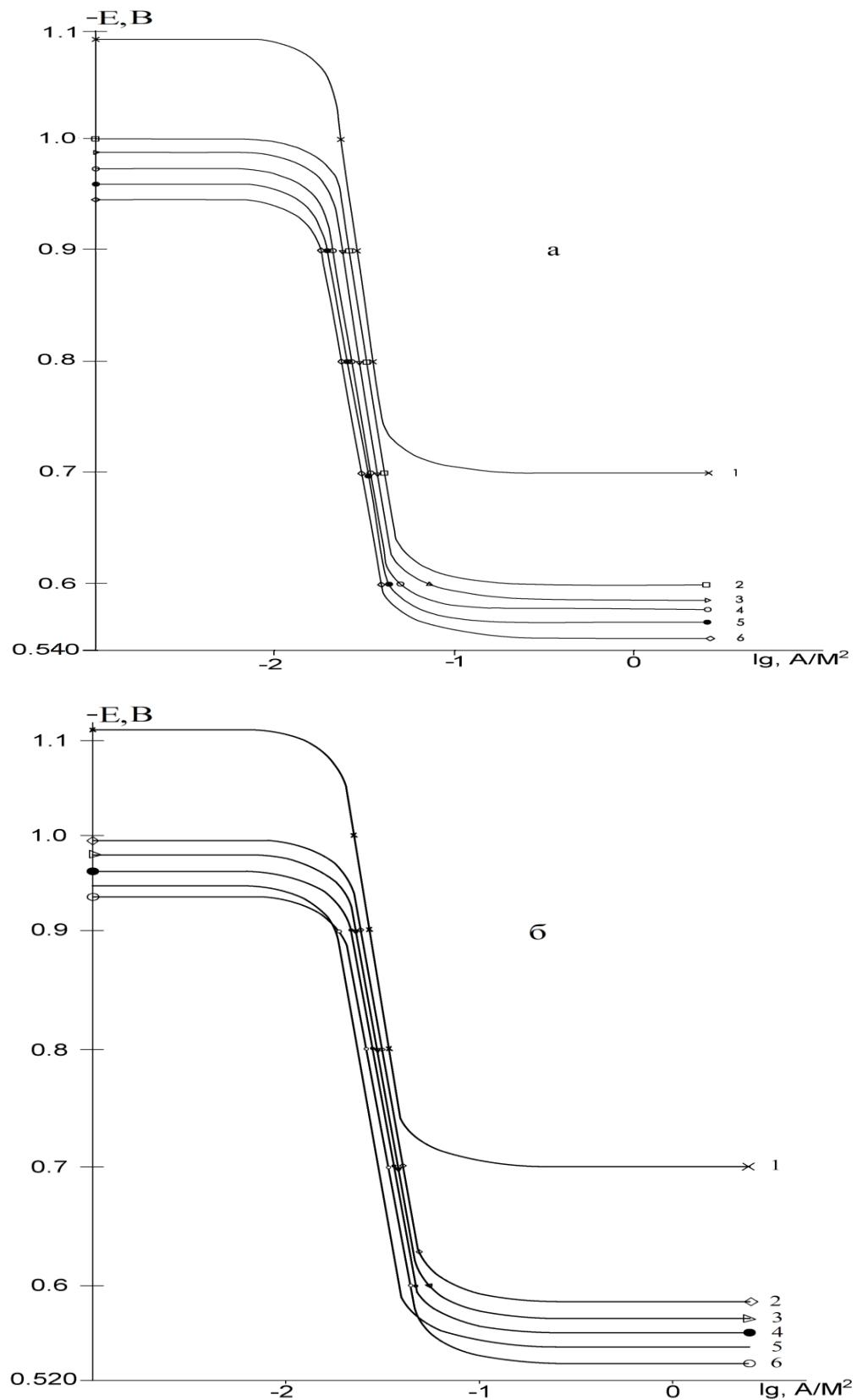


Рис. 3. Анодные ветви потенциодинамических (2 мВ/с) кривых сплава АЖ5К10 (1), содержащего кальций (а) и барий (б), мас. %: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5); 1,0 (6) в среде электролита 3%-ного NaCl

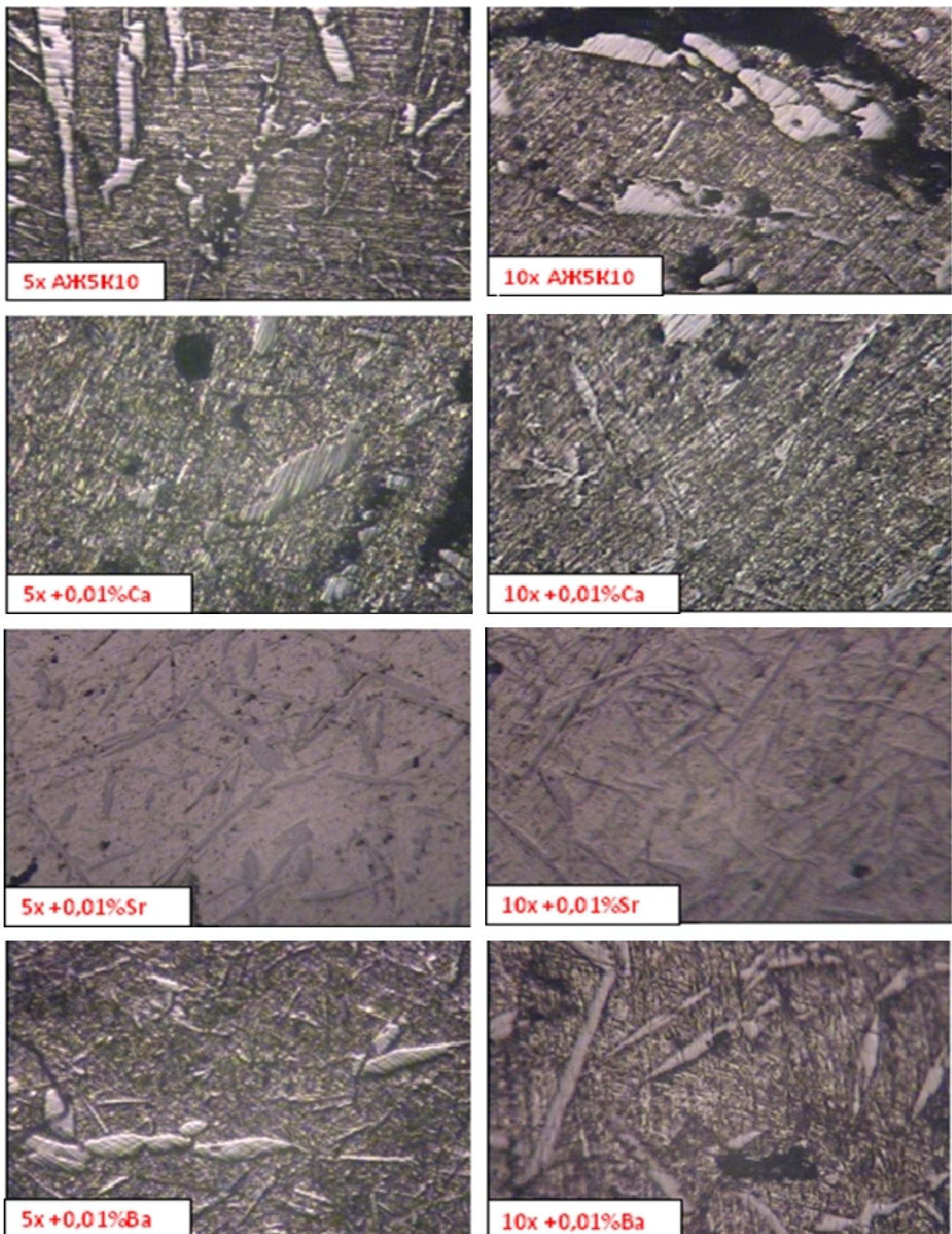


Рис. 4. Микроструктуры сплава AJ5K10, модифицированного щелочноземельными металлами

Заключение

В связи со структурными особенностями литьих сплавов – грубыми хрупкими включениями кремния и интерметаллических фаз – прочностные характеристики силуминов невысокие. Особенна низка пластичность. Для улучшения структуры и механических свойств промышленных сплавов алюминия регулируют режимы плавки и литья. Существенная роль отводится условиям кристаллизации отливок (литье в песчаные и металлические формы, под давлением и т.д.). Наиболее действенным фактором, определяющим благоприятное структурообразование силуминов, является метод модифицирования. Модифицирование позволяет измельчать структуры сплавов за счёт введения в расплав перед его заливкой малых количеств добавок модифицирующих элементов [5].

Нами в качестве модификатора структуры сплава АЖ5К10 выбраны щелочноземельные металлы, эффект модифицирования которых ранее нами был установлен на примере промышленных силуминов [5, 17, 18]. Щелочноземельные металлы, особенно стронций и барий, надёжно обеспечивают измельчение важнейших структурных составляющих силуминов-алюминиево-кремниевой эвтектики. Как видно из рис. 4, ЦЗМ не только измельчают микроструктуру алюминиево-кремниевой эвтектики, но также благотворно влияют на характер кристаллизации тройных фаз состава Fe_2SiAl_8 (α) и $FeSiAl_5$ (β).

Механизм влияния ЦЗМ на модифицирование микроструктуры сплава АЖ5К10 объясняется их поверхностно активным действием. Являясь поверхностно-активными металлами, ЦЗМ изменяют межфазное натяжение на границе расплава с зародышами и скорость обмена атомов между ними (энергию активации), способствуют или препятствуют образованию и росту кристаллизующейся фазы.

Модифицирование структуры сплава АЖ5К10 под влиянием ЦЗМ способствует изменению анодных характеристик процесса коррозии сплавов в среде электролита $NaCl$. При этом происходит смещение в положительную область потенциалов свободной коррозии и питтингообразования, что сопровождается уменьшением скорости анодной коррозии исходного сплава АЖ5К10 примерно на 50–70%.

Сплав АЖ5К10 является модельным сплавом и при дальнейшем его легировании магнием, титаном и другими металлами можно существенно улучшить его эксплуатационные свойства

Список литературы

- Горо Н. Коррозия алюминия и его сплавов // Босекугидаузу. 1978. С. 194–202.
- Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы. Самара, 2013. 81 с.
- Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение) / под ред. Фридляндра И.Н. Справочник. К.: КОМИТЕХ, 2005. 365 с.
- Menan F., Henaff G. Synergistic action of fatigue and corrosion during crack growth in the 2024 aluminium alloy // Procedia Engineering. Elsevier. 2010, vol. 2, no.1, pp. 1441–1450.
- Сравнительное исследование анодного поведения сплава АЖ2,18, модифицированного литием, бериллием и магнием, в среде электролита $NaCl$ / Азимов Х.Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Джураева М.Ш. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 45–53.
- Влияние технологических факторов на образование дефектов структуры в крупнотоннажных слитках из алюминиевых сплавов серии 1XXX / Фролов В.Ф., Беляев С.В., Губанов И.Ю., Безруких А.И., Костин И.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 25–31.
- Chen X.-G. Growth mechanisms of intermetallic phases in DC cast AA1XXX alloys // Essential Readings in Light Metals. Volume 3. Cast Shop for Aluminum Production. 2013, pp. 460–465.
- Grange D.A. Microstructure control in ingots of aluminium alloys with an emphasis on grain refinement // Essential Readings in Light Metals. Volume 3. Cast Shop for Aluminum Production. 2013, pp. 354–365.
- Geoffrey K. Sigworth Fundamentals of Solidification in Aluminum Castings // International Journal of Metalcasting. 2014, vol. 8, iss. 1, pp.7–20.
- Мондальфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1973. 639 с.
- Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Анодные сплавы алюминия с марганцем, железом и редкоземельными металлами. Душанбе: Дониш, 2009. 232 с.
- Потенциодинамическое исследование сплава АЖ 4.5, легированного свинцом, в среде электролита $NaCl$ / Одинаев Ф.Р., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Якубов У.Ш. // Обработка сплошных и сплоистых материалов. 2016. №2 (45). С. 64–68.
- Стационарные потенциалы и анодное поведение сплава АЖ 4.5, легированного висмутом / Одинаев Ф.Р., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Якубов У.Ш. // Известия СПбГТИ(ТУ). 2017. №38. С. 8–12.
- Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита $NaCl$ / Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Сангов М.М., Хакимов А.Х. // Вестник СиБГИУ. 2017. №4 (22). С. 57–62.
- Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Сангов М.М. Электрохимическая коррозия сплава АЖ5К10, модифицированного

- барием, в среде электролита NaCl // Известия СПбГТИ(ТУ). 2018. №43. С. 23–27.
16. Потенциодинамическое исследование сплава Al+6%Li с иттрием в среде электролита NaCl / Назаров Ш.А., Ганиев И.Н., Норова М.Т., Ганиева Н.И., Irene Calliari // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т.14. №2. С. 95–100.
17. Вахобов А.В., Ганиев И.Н. Стронций – эффективный модификатор силуминов // Литейное производство. 2000. №5. С. 28.
18. Барий – новый модификатор силуминов / Каргаполова Т.Б., Махмадуллоев Х.А., Ганиев И.Н., Хақдодов М.М.// Литейное производство. 2001. №10. С. 6–9.

Поступила 20.04.18
Принята в печать 04.06.18

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-109-119>

ON THE CORROSION POTENTIAL OF AlFe5S10 ALLOY INOCULATED WITH ALKALINE-EARTH METALS IN THE NaCl MEDIUM

Umarali Sh. Yakubov – Postgraduate Student

V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan,
E-mail: yakubovumarali@gmail.com

Izatullo N. Ganiev – DSc (Chemistry), Professor, Head of Laboratory

V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, E-mail: ganiev48@mail.ru

Murodali M. Sangov – Rector

Tajik State Pedagogical University. E-mail: sangov72@mail.ru

Nargis I. Ganieva – Associate Professor

Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi. E-mail: n.ganieva1977@mail.ru

Abstract

This paper describes a potentiostatic study of the anodic behaviour of the AlFe5S10 alloy with calcium, strontium and barium conducted in the potentiodynamic mode at a potential sweep rate of 2 mV/s. It is shown that as the concentration of the alkaline-earth metal rises, the free corrosion potential (or, steady state potential) of the AlFe5S10-Ca (Sr, Ba) alloys tends to change in the positive direction. At the same time, influenced by the concentration of chloride ion in the NaCl medium, it tends to move in the negative direction of the coordinate axis. As the concentration of chloride ion in the NaCl electrolyte rises, the pitting and repassivation potentials of the AlFe5S10 alloy with calcium, strontium and barium drop. An increased concentration of the inoculant in the AlFe5S10 alloy leads to higher pitting and repassivation potentials in either medium regardless of the chloride ion concentration. The more calcium, strontium and barium are inoculated, the lower the corrosion current density and, correspondingly, the corrosion rate of the AlFe5S10-Ca (Sr, Ba) alloy get. The chloride ion concentration causes the corrosion current to rise. This dependence is typical of all alloys regardless of their composition or the physical and chemical properties of the inoculant.

Keywords: AlFe5S10 alloy, calcium, strontium, barium, potentiostatic method, electrochemical corrosion, anodic behaviour, corrosion potential, corrosion rate.

References

1. Goro N. Corrosion of aluminium and its alloys. Bosekugidayuzu, 1978, pp. 194–202.

2. Luts A.R., Suslina A.A. *Alyuminii i ego splavi* [Aluminium and its alloys]. Samara, 2013, 81 p. (In Russ.)
3. Beletsky V.M., Krivov G.A. *Alyuminievie splavi (Sostav, svoystva, tekhnologiya, primenenie)* [Aluminum alloys (Composition, properties, technology, application)]. Ed. by I.N. Fridlyander. Reference book. Kiev: KOMITEKh, 2005, 365 p. (In Russ.)
4. Menan F., Henaff G. Synergistic action of fatigue and corrosion during crack growth in the 2024 aluminium alloy. Procedia Engineering. Elsevier. 2010, vol. 2, no. 1, pp. 1441–1450.
5. Azimov Kh.Kh., Ganiev I.N., Amonov I.T., Dzhuraeva M.Sh. A comparative study of the anodic behaviour of the AZh2,18 alloy inoculated with lithium, beryllium and magnesium in NaCl]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2017, vol. 15, no. 3, pp. 45–53. (In Russ.)
6. Frolov V.F., Belyaev S.V., Gubanov I.Yu., Bezrukikh A.I., Kostin I.V. Influence of process factors on the formation of structural defects in heavy 1XXX series aluminium alloy ingots. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2016, Vol. 14, No. 2, pp. 25–31. (In Russ.)
7. Chen X.-G. Growth mechanisms of intermetallic phases in DC cast AA1XXX alloys. Essential Readings in Light Metals. Volume 3. Cast Shop for Aluminum Production. 2013, pp. 460–465.
8. Grange D.A. Microstructure control in ingots of aluminium alloys with an emphasis on grain refinement. Essential

- Readings in Light Metals. Volume 3. Cast Shop for Aluminum Production. 2013, pp. 354–365.
9. Geoffrey K. Sigworth Fundamentals of Solidification in Aluminum Castings. International Journal of Metalcasting. 2014, vol. 8, iss. 1, pp. 7–20.
10. Mondolfo L.F. *Struktura i svoystva aluminievikh splavov* [Aluminum alloys : structure and properties]. Moscow: Metallurgiya, 1979, 639 p. (In Russ.)
11. Umarova T.M., Ganiev I.N. *Anodnie splavi aluminiya s margantsem, zhelezom i redkozemelnymi metallami* [Anodic alloys of aluminium with manganese, iron and rare earth metals]. Dushanbe: Donish, 2009, 232 p.
12. Odinaev F.R., Ganiev I.N., Safarov A.G., Yakubov U.Sh. Potentiodynamic study of the AlFe 4.5 alloy doped with lead in NaCl. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov* [Processing of solid and laminated materials], 2016, no. 2 (45), pp. 68–71. (In Russ.)
13. Odinaev F.R., Ganiev I.N., Safarov A.G., Yakubov U.Sh. Steady state potentials and anodic behaviour of the AlFe 4.5 alloy doped with bismuth. *Izvestiya SPbGTI(TU)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], 2017, no. 38, pp. 8–12. (In Russ.)
14. Ganiev I.N., Yakubov U.Sh., Sangov M.M., Khakimov A.Kh. Anodic behaviour of the AlFe5S10 alloy doped with strontium in NaCl. *Vestnik SibGIU* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], 2017, no. 4 (22), pp. 57–62. (In Russ.)
15. Yakubov U.Sh., Ganiev I.N., Sangov M.M. Electrochemical corrosion of the AlFe5S10 alloy doped with barium in NaCl. *Izvestiya SPbGTI(TU)* [Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], 2018, no. 43, pp. 23–27. (In Russ.)
16. Nazarov Sh.A., Ganiev I.N., Norova M.T., Ganieva N.I., Irene Calliari. Potentiodynamic study of the Al+6% Li alloy with yttrium in NaCl. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2016, Vol. 14, No. 2, pp. 95–100. (In Russ.)
17. Vakhobov A.V., Ganiev I.N. Strontium as an effective inoculant for silumins. *Liteynoye proizvodstvo* [Foundry production], 2000, no. 5, pp. 28. (In Russ.)
18. Kargapolova T.B., Makhmadulloev Kh.A., Ganiev I.N., Khakdodov M.M. Barium: a new inoculant for silumins. *Liteynoye proizvodstvo* [Foundry production], 2001, no. 10, pp. 6–9. (In Russ.)

Received 20/04/18

Accepted 04/06/18

Образец для цитирования

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

For citation

Yakubov U.Sh., Ganiev I.N., Sangov M.M., Ganieva N.I. On the corrosion potential of AlFe5S10 alloy inoculated with alkaline-earth metals in the NaCl medium. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 109–119. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-3-109-119>