

Физическая химия и физика металлургических систем

УДК 669.017:620.197

DOI: 10.14529/met180301

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК КАЛЬЦИЯ НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА АЖ5К10 В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ NaCl

У.Ш. Якубов¹, И.Н. Ганиев¹, М.М. Сангов², Р.Н. Амин³

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

² Государственный педагогический институт Таджикистана в Рахтском районе, пос. Рахт, Республика Таджикистан,

³ Голпайганский технологический университет, г. Голпайган, Иран

Известно, что ежегодные потери металлов от коррозии составляют 10–15 % от их объема годового производства. Одним из путей снижения коррозии металлов является разработка путей повышения их коррозионной стойкости. Одним из основных способов повышения устойчивости сплавов к коррозии является целенаправленное легирование элементами, комплексно влияющими на основные коррозионно-электрохимические характеристики сплавов. В работе представлены результаты коррозионно-электрохимического исследования влияния добавок кальция как модификатора структуры на анодное поведение сплава АЖ5К10 (Al + 5 % Fe + 10 % Si), в среде водного раствора NaCl.

Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием. Исследовано потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развёртки потенциала 2 мВ/с. Добавки кальция в сплаве АЖ5К10 составило от 0,01 до 1,0 мас. %. Исследования проводились в среде водного раствора NaCl с концентрацией 0,03; 0,3 и 3 мас. %. Показано, что с увеличением концентрации хлорид-иона в водном растворе NaCl наблюдается смещение в отрицательную область значения потенциалов свободной коррозии и питтингообразования. Потенциал свободной коррозии сплавов от времени смещается в положительную область. Такая зависимость имеет место и с ростом концентрации модификатора (кальция) в сплаве АЖ5К10. При этом независимо от состава сплавов отмечен рост скорости их коррозии от концентрации NaCl в растворе. Добавки кальция к сплаву АЖ5К10 почти в 2 раза увеличивают его коррозионную стойкость. Показано, что сплавы корродируют по питтинговому механизму и кальций как модификатор структуры сплавов способствует сдвигу потенциалов питтингообразования и репассивации в область положительных значений, что в целом приводит к росту устойчивости сплавов к питтинговой коррозии, а также залечиванию (репассивацию) вновь зарождающихся питтинговых очагов.

Ключевые слова: сплав АЖ5К10, кальций, потенциостатический метод, электрохимическое поведение, раствор NaCl, потенциал свободной коррозии, потенциал питтингообразования, скорость коррозии.

Введение

Сплавы алюминия нашли широкие 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 [1–3].

К настоящему времени значительно возросли требования к новым конструкционным материалам с высокими эксплуатационными характеристиками, в частности, коррозионной устойчивости. Следовательно, разработка новых конструкционных материалов на основе сплавов алюминия с малыми добавками модифицирующих элементов, обладающих повышенными показателями коррозионной ус-

тойчивой, 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].

Целью настоящей работы является исследование анодного поведения сплава АЖ5К10 (Al + 5 % Fe + 10 % Si), модифицированного кальцием, в среде водного раствора NaCl различной концентрации. Сплав АЖ5 извлекался непосредственно из одной электролизных ванн алюминиевой компании «ГУП ТАЛКО».

Экспериментальная часть

Для достижения цели необходимо разработать сплав на основе данного металла, при этом не разбавляя указанный металл более чистым металлом из других электролизных ванн. Таким образом, нужно превратить некондиционный металл в полезный обществу продукт. Для этого данный металл, т. е. сплав АЖ5 подвергался легированию 10 мас. % кремнием, так как последний улучшает литейно-технологические свойства сплава АЖ5. Новый сплав АЖ5К10 подвергался модифицированию лигатурой Al + 10 % Ca.

Вновь полученный сплав АЖ5К10 (Al + 5 % Fe + 10 % Si) разрабатывается нами как конструкционный материал с повышенной жаропрочностью. Это может способствовать промышленному применению некондиционного алюминия, который в лучшем случае используется для раскисления и дегазации стали или же для разбавления сортового металла.

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; четвертая фаза $FeSiAl_3$ (δ) выделяется при кристаллизации сплавов, богатых железом и кремнием [5]. С алюминиевым твердым раствором в системе Al–Fe–Si в равновесии находятся тройные фазы Fe_2SiAl_8 (α) и $FeSiAl_5$ (β) (рис. 1а). Сплав АЖ5К10 по химическому составу располагается в тройной области α -Al + Si + $FeSiAl_5$. Установлено, что фаза $FeSiAl_5$ (25,6 % Fe и 12,8 % Si) при кристаллизации выделяется в виде китайских ие-

роглифов или в виде пластин. Область гомогенности указанной фазы находится в пределах 25–30 % Fe и 12–15 % Si. Фаза $FeSiAl_5$ имеет моноклинную решетку с параметрами $a = b = 6,12 \text{ \AA}$ и $c = 41,5 \text{ \AA}$; $\alpha = 91^\circ$; $\delta = 3,3 \div 3,35 \text{ г/см}^3$ и $HV 5800 \text{ МН/м}^2$ [5].

Согласно проекции поверхности ликвидуса системы Al–Fe–Si на диаграмме, в области до 6 % Fe и 12 % Si имеет место пять областей первичной кристаллизации: α – твердый раствор на основе алюминия, фаза $FeAl_3$, тройные фазы Fe_2SiAl_8 , $FeSiAl_5$. Согласно проекции поверхности ликвидуса алюминиевого угла системы Al–Fe–Si, сплав АЖ5К10 имеет температуру плавления 727°C по [3] и 670°C по [5], что соответствует области первичной кристаллизации Fe_2SiAl_8 . В системе протекает две перитектические реакции при 630°C по реакции $Ж + FeAl_3 = \alpha\text{-Al} + Fe_2SiAl_8$ и при 612°C происходит реакция $Ж + Fe_2SiAl_8 = \alpha\text{-Al} + FeSiAl_5$. Кристаллизация сплава АЖ5К10 завершается в точке тройной эвтектики по реакции $Ж = \alpha\text{-Al} + Si + FeSiAl_5$ при 576°C .

Сплав АЖ5К10 с кальцием получали в шахтной лабораторной печи СШОЛ при температуре $850\text{--}900^\circ\text{C}$ путём добавления лигатуры алюминия с 10 мас. % кальция. Далее в металлический кокиль отливались цилиндрические образцы диаметром 10 мм и длиной 140 мм. Торцевая часть образцов служила рабочим электродом для исследования электрохимических свойств. Состав сплавов контролировался взвешиванием шихты и полученных сплавов. Исследованию подвергались сплавы, масса которых отличалась от массы шихты не более чем на 1 % отн.

Образцы сплавов перед исследованием зачищались наждачной бумагой, последовательно переходя от крупной к мелкой (№ 2 – 00). Таким образом, подготовка поверхности электрода проводилась механической обработкой. При снятии потенциодинамических кривых также проводилась катодная поляризация поверхности электрода для удаления оксидов с поверхности. Ниже приводится подробная методика снятия поляризационных кривых сплавов в среде водного раствора NaCl на примере сплава АЖ5К10 (рис. 1).

При электрохимических испытаниях образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питингообразования (рис. 1, кривая I). Затем образцы поля-

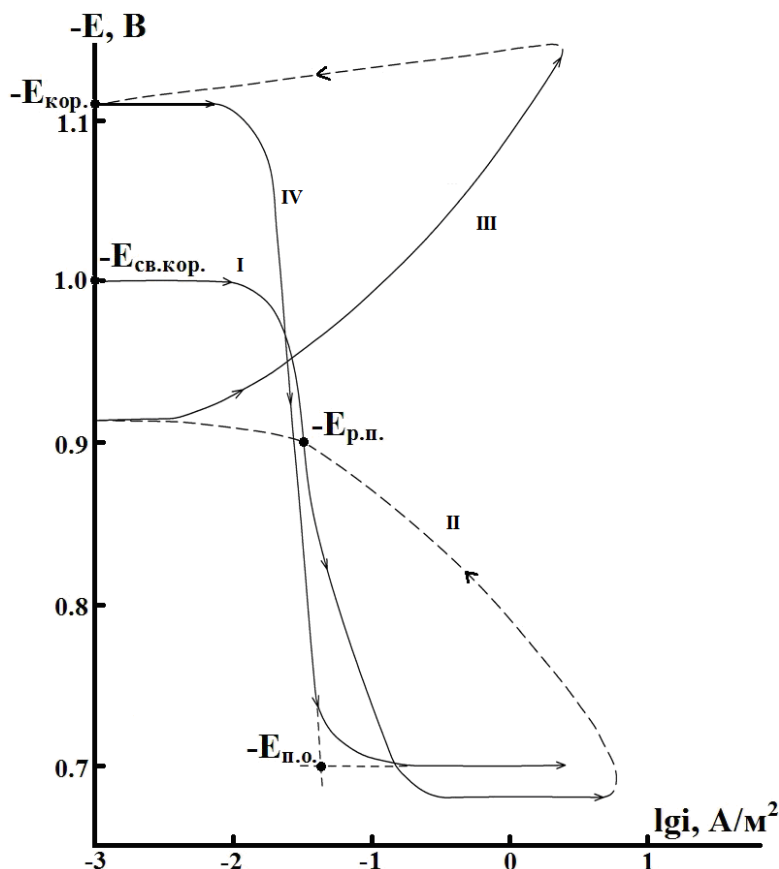


Рис. 1. Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая сплава АЖ5К10 в среде водного раствора 3%-ного NaCl

ризовали в обратном направлении (рис. 1, кривые II и III) до потенциала (-1200 мВ), в результате чего происходило растворение плёнки оксида. Наконец, образцы поляризовали снова в положительном направлении, получив анодные поляризационные кривые сплавов (рис. 1, кривая IV). Все четыре потенциодинамические кривые сплава АЖ5К10, снятые в среде водного раствора 3%-ного NaCl, приведены на рис. 1. Кривые обратного хода на поляризационной кривой отмечены пунктиром.

По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:

- $-E_{ст.}$ или $-E_{св.к.}$ — стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;
- $-E_{р.п.}$ — потенциал репассивации;
- $-E_{п.о.}$ — потенциал питтингообразования;
- $-E_{кор.}$ — потенциал коррозии;
- $-i_{кор.}$ — ток коррозии.

Учитывая, что в нейтральных средах процесс коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации

кислорода, расчёт тока коррозии проводили из катодной ветви потенциодинамических кривых с учётом таффеловской константы, равной $0,12$ В.

Скорость коррозии K определяли по току коррозии ($i_{кор.}$) по формуле $K = i_{кор.} \cdot k$, где $k = 0,335$ г/А · ч для алюминия [6, 7].

Исследования проводили согласно рекомендациям ГОСТ 9.017–74, в среде водного раствора 3%-ного NaCl (заменителя морской воды) с целью определения влияния хлорид-иона на коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием.

Электрохимические исследования полученных сплавов проводилось на потенциостате ПИ-50-1.1 с программатором ПР-8 и самозаписью на ЛКД-4. Температуру раствора поддерживали постоянно 25 °С с помощью термостата МЛШ-8. Воспроизводимость результатов на электродах одного и того же состава была в пределах 10 мВ. Исследования проводили по методикам, описанным в работах [8–20].

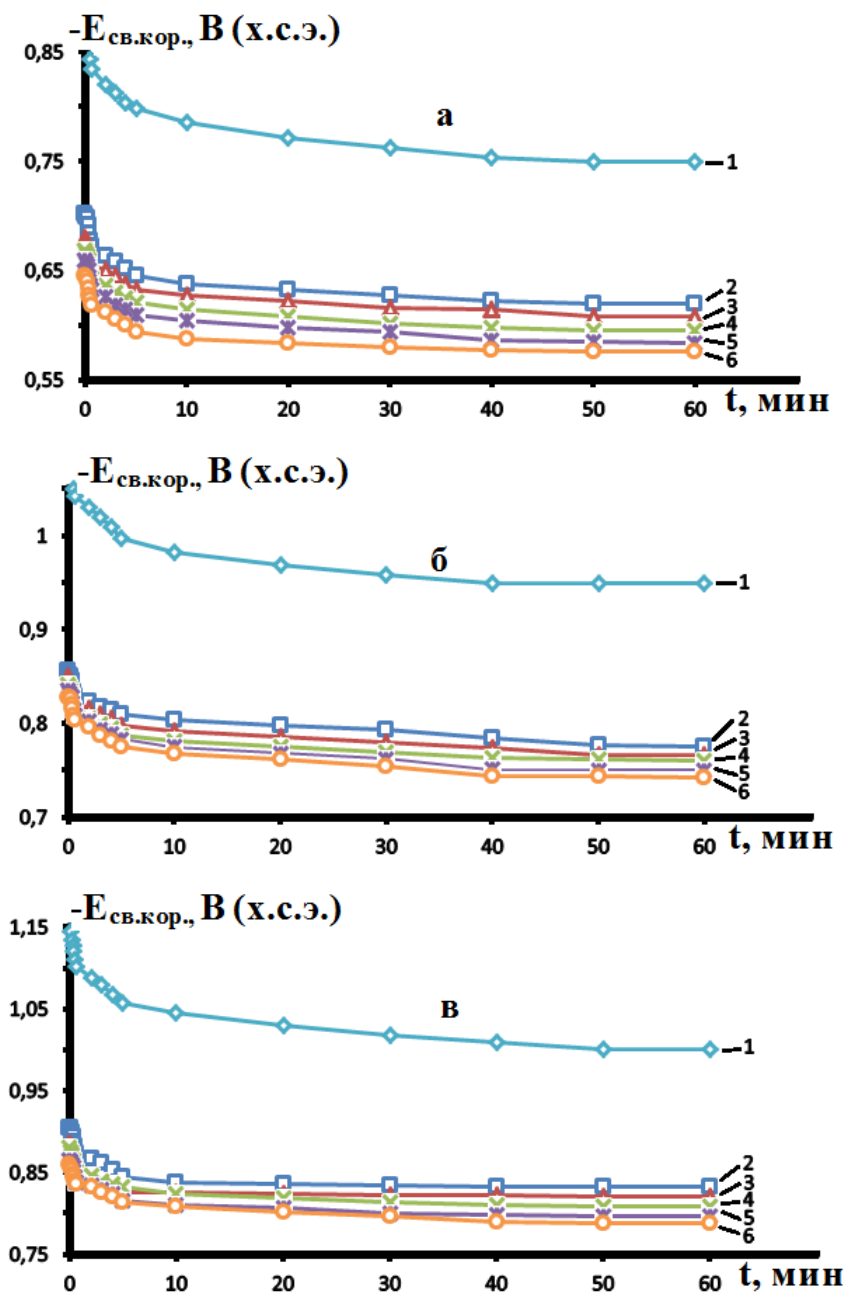


Рис. 2. Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ($-E_{св.кор.}$, В) сплава АЖ5К10 (1), содержащего кальций, мас. %: 0,01 (2), 0,05 (3), 0,1 (4), 0,5 (5), 1 (6), в среде водного раствора: 0,03 % (а), 0,3 % (б) и 3%-ного (в) NaCl

Модифицирование кальцием способствует смещению потенциала свободной коррозии исходного сплава АЖ5К10 в положительную область значений во всех трёх изученных средах водного раствора NaCl. Потенциал свободной коррозии от содержания кальция смещается в область положительных значений (рис. 2).

В таблице представлены коррозионно-электрохимические характеристики сплава АЖ5К10 в среде водного раствора NaCl раз-

личной концентрации. Как видно, с ростом содержания кальция в исходном сплаве АЖ5К10 и уменьшении концентрации хлорид-иона, потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений. Это сопровождается уменьшением скорости коррозии исходного сплава почти в 2 раза (рис. 3, 4).

Анодные ветви потенциостатических кривых для исследованных электродов с различным содержанием кальция приведены на рис. 5.

Потенциалы приведены относительно хлорсеребряного электрода (х.с.э.).

С ростом концентрации хлорид-иона потенциалы свободной коррозии ($E_{\text{св.кор.}}$), питтингообразования ($E_{\text{п.о.}}$) и репассивации ($E_{\text{рп.}}$) смещаются в отрицательную область значений, а скорость коррозии сплавов растёт. Всё это сопровождается сдвигом в область положительных значений анодной ветви потен-

циодинамических кривых сплавов, легированных кальцием (см. рис. 5).

На рис. 6 приставлены микроструктуры сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием при увеличениях 10X и 20X, где X = 100. Видно, что модифицирование значительно измельчает включения двойных эвтектик $\alpha\text{-Al-Si}$, $\alpha\text{-Al-Al}_3\text{Fe}$, $\alpha\text{-Al-Al}_3\text{Fe}$ и тройной эвтектики $\alpha\text{-Al} + \text{Si} + \text{FeSiAl}_5$. Под воздействием 0,01 мас. % кальция размеры зёрен тройных

Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием, в среде водного раствора NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание кальция в сплаве, мас. %	Электрохимические потенциалы, В				Скорость коррозии	
		$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{рп.}}$	$K \cdot 10^{-3}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^{-2}, \text{ А/м}^2$
0,03	—	0,750	0,994	0,645	0,738	3,7	12,39
	0,01	0,620	0,952	0,530	0,536	3,4	11,39
	0,05	0,608	0,940	0,516	0,528	3,0	10,05
	0,1	0,595	0,928	0,500	0,520	2,7	9,04
	0,5	0,584	0,916	0,488	0,506	2,4	8,04
	1,0	0,576	0,904	0,476	0,486	2,1	7,03
0,3	—	0,950	1,060	0,660	0,780	4,6	15,42
	0,01	0,776	0,968	0,588	0,672	3,8	12,73
	0,05	0,767	0,956	0,572	0,666	3,4	11,30
	0,1	0,760	0,942	0,558	0,654	3,0	10,05
	0,5	0,750	0,930	0,542	0,644	2,7	9,04
	1,0	0,742	0,920	0,530	0,622	2,4	8,04
3,0	—	1,000	1,110	0,700	0,900	5,8	19,43
	0,01	0,832	1,000	0,600	0,720	5,2	17,42
	0,05	0,820	0,988	0,586	0,714	4,8	16,08
	0,1	0,808	0,974	0,578	0,702	4,5	15,07
	0,5	0,796	0,960	0,566	0,688	4,2	14,07
	1,0	0,788	0,946	0,552	0,670	4,0	13,40

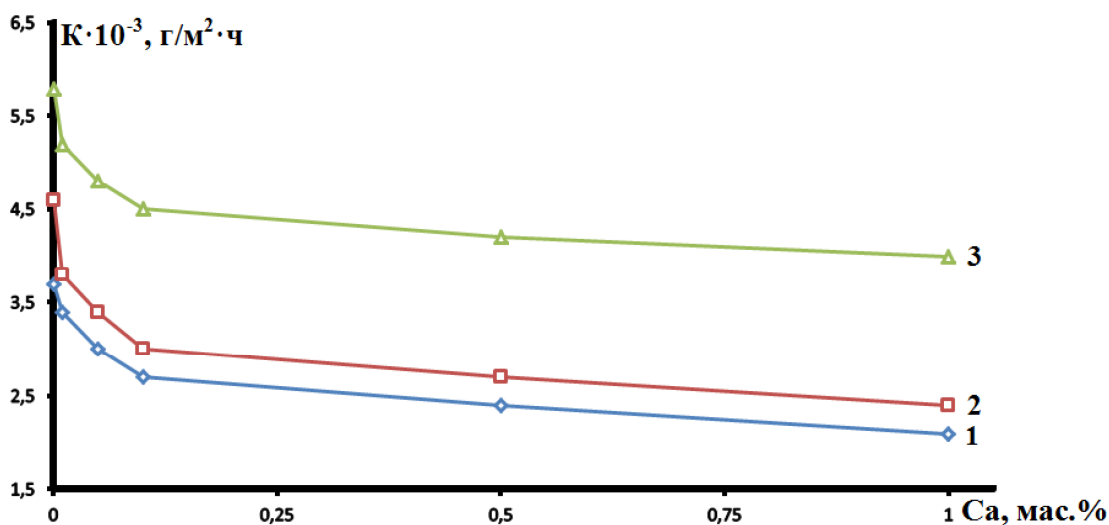


Рис. 3. Зависимость скорости коррозии сплава АЖ5К10 (1) от концентрации кальция, мас. %: 0,01 (2), 0,05 (3), в среде водного раствора NaCl

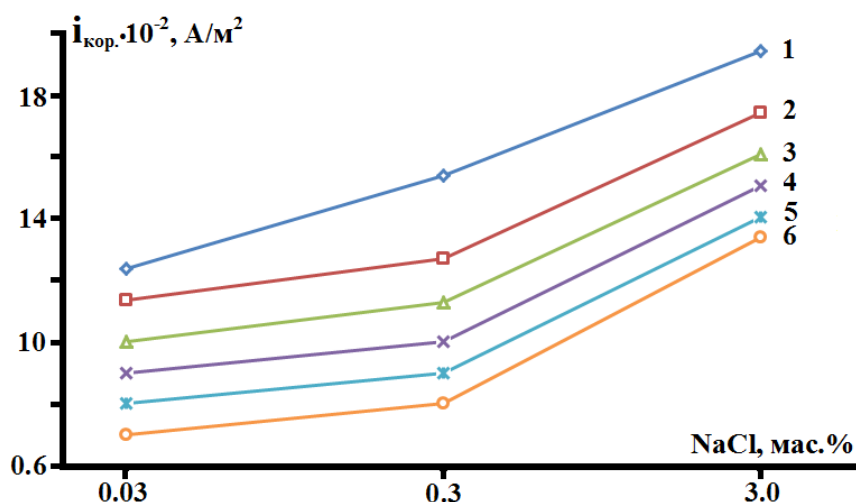


Рис. 4. Зависимость плотности тока коррозии сплава АЖ5К10 (1), содержащего кальций, мас. %: 0,01 (2), 0,05 (3), 0,1 (4), 0,5 (5), 1 (6), от концентрации NaCl

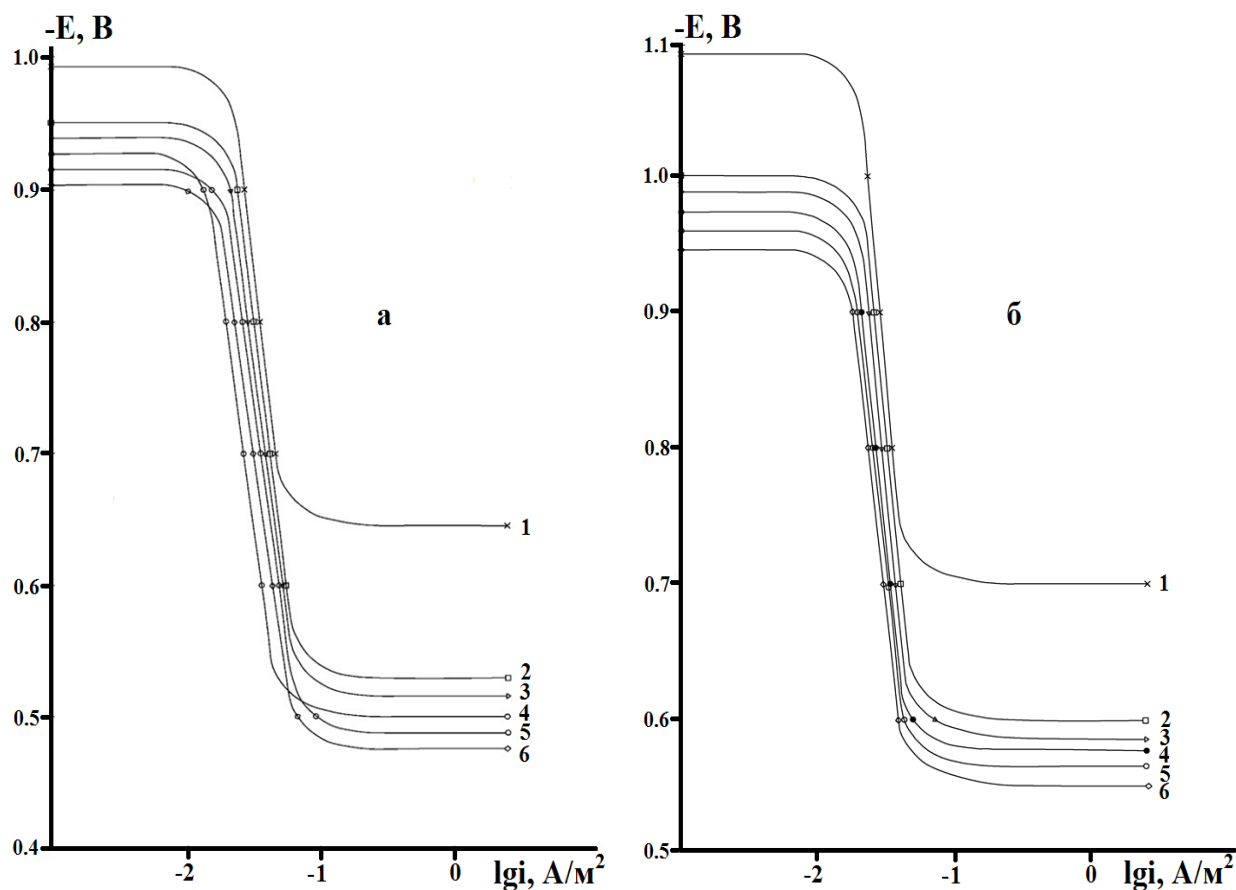


Рис. 5. Анодные поляризационные (2м В/с) кривые сплава АЖ5К10 (1), содержащего кальций, мас. %: 0,01 (2), 0,05 (3), 0,1 (4), 0,5 (5), 1 (6), в среде водного раствора 0,03 % (а) и 3%-ного (б) NaCl

интерметаллидов Fe_2SiAl (α) $FeSiAl_5$ (β) также значительно уменьшаются, что видно на рис. 6б. Более высокое легирование кальцием (0,5 мас. %) (рис. 6в) не обеспечивает оптимальное измельчение микроstructures сплава

АЖ5К10. Сравнение указанных микроstructures позволяет отдать предпочтение сплаву с содержанием кальция 0,05 мас. %, так как в данном случае имеет место оптимальное модифицирование.

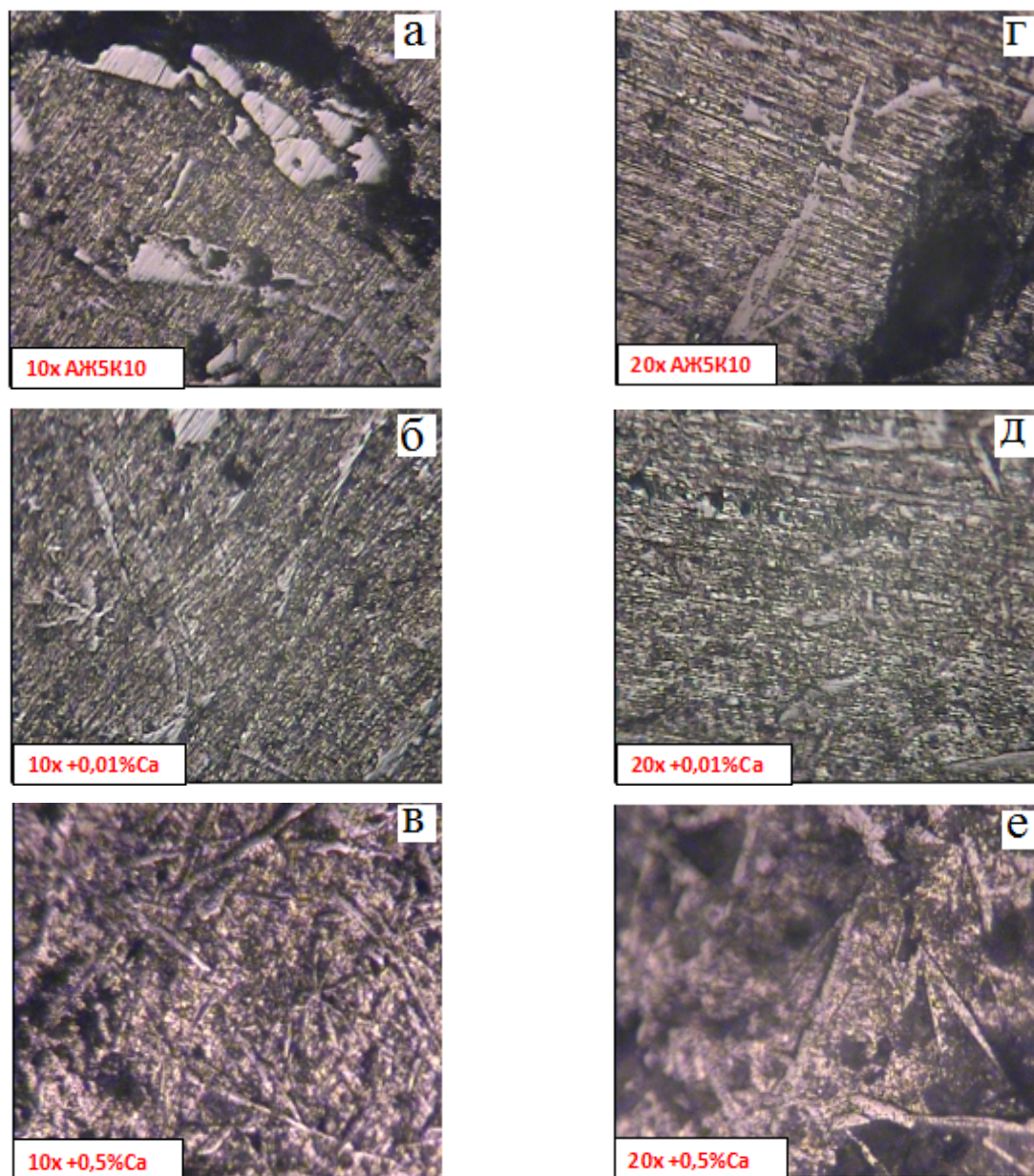


Рис. 6. Микроструктуры сплава АЖ5К10, модифицированного кальцием

Выводы

Изучение коррозионно-электрохимического поведения сплава АЖ5К10 с кальцием в среде водного раствора NaCl показало, что добавки модифицирующих элементов до 1,0 мас. % независимо от состава раствора уменьшают скорость коррозии исходного сплава. Также исследованием влияния хлорид-иона на электрохимические характеристики сплава АЖ5К10 с кальцием установлено, что снижение его концентрации в 100 раз способствует уменьшению скорости коррозии сплавов и сдвигу электродных потенциалов в более положительную область.

Литература

1. Белецкий, В.М. *Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение)* / В.М. Белецкий, Г.А. Кривов; под ред. И.Н. Фридляндера. – Киев: КОМИНТЕХ, 2005. – 365 с.
2. Луц, А.Р. *Алюминий и его сплавы* / А.Р. Луц, А.А. Суслина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с.
3. Умарова, Т.М. *Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах* / Т.М. Умарова, И.Н. Ганиев. – Душанбе: Дониш, 2007. – 258 с.
4. Дриц, М.Е. *Алюминиевые сплавы. Свой-*

ства, обработка применение / М.Е. Дриц. – М.: Металлургия, 1979. – 679 с.

5. Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондольфо. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.

6. Анодное поведение сплава $Al + 2,18 \% Fe$, легированного кальцием, в среде электролита $NaCl$ / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, Х.Х. Азимов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58, № 12. – С. 38–42.

7. Сравнительное исследование анодного поведения сплава $AJ2,18$, модифицированного литием, бериллием и магнием, в среде электролита $NaCl$ / Х.Х. Азимов, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, М.Ш. Джураева // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2017. – Т. 15, № 3. – С. 45–53.

8. Стационарные потенциалы и анодное поведение сплава $AJ 4.5$, легированного висмутом / Ф.Р. Одинаев, И.Н. Ганиев, А.Г. Сафаров, У.Ш. Якубов // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2017. – № 38. – С. 8–12.

9. Потенциодинамическое исследование сплава $AJ 4.5$, легированного свинцом, в среде электролита $NaCl$ / Ф.Р. Одинаев, И.Н. Ганиев, А.Г. Сафаров, У.Ш. Якубов // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2016. – № 2 (45). – С. 68–71.

10. Анодное поведение сплава $AJ5K10$, модифицированного стронцием, в среде электролита $NaCl$ / И.Н. Ганиев, У.Ш. Якубов, М.М. Сангов, А.Х. Хахимов // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 4 (22). – С. 57–62.

11. Анодное поведение сплава $Zn5Al$, легированного галлием, в среде электролита $NaCl$ / Ф.Р. Сафарова, Н.Б. Одинаева, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник Таджикского технического университета. Серия: Инженерные исследования. – 2016. – № 4 (36). – С. 21–25.

12. Якубов, У.Ш. Электрохимическая коррозия сплава $AJ5K10$, модифицированного барием, в среде электролита $NaCl$ / У.Ш. Якубов, И.Н. Ганиев, М.М. Сангов // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2018. – № 43. – С. 23–27.

13. Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава $Al + 2,18 \% Fe$ в нейтральной среде / И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, И.Т. Амонов, Н.Р. Эсанов // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 3. – С. 40–44.

14. Потенциодинамическое исследование сплава $SSu3$, легированного кальцием в среде электролита $NaCl$ / О.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, С.У. Худойбердизода // Вестник СибГИУ. – 2018. – № 1 (23). – С. 37–41.

15. Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава $SSu3$ в нейтральной среде электролита $NaCl$ / И.Н. Ганиев, О.Х. Ниёзов, Н.М. Муллоева, Б.Б. Эшов // Литье и металлургия. – 2018. – № 1. – С. 84–89.

16. Ниёзов, О.Х. Потенциодинамическое исследование сплава $SSu3$, легированного барием в среде электролита $NaCl$ / О.Х. Ниёзов, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. – 2018. – № 1. – С. 120–126.

17. Назаров, Ш.А. Влияние неодима на анодное поведение сплава $Al + 6 \% Li$, в нейтральной среде / Ш.А. Назаров, И.Н. Ганиев, Н.И. Ганиева // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – Т. 1, № 1 (37). – С. 47–53.

18. Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение свинца в нейтральной среде / И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, О.Х. Ниёзов и др. // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). – С. 49–53.

19. Назаров, Ш.А. Влияние празеодима на анодное поведение сплава $Al + 6 \% Li$, в нейтральной среде / Ш.А. Назаров, И.Н. Ганиев, Н.И. Ганиева // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2017. – № 38. – С. 3–7.

20. Потенциодинамическое исследование сплава $Al + 6 \% Li$ с иттрием в среде электролита $NaCl$ / Ш.А. Назаров, И.Н. Ганиев, М.Т. Норова и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. – Т. 14, № 2. – С. 95–100.

Якубов Умарали Шералиевич, докторант PhD, Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан; yakubovumarali@gmail.com.

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

Сангов Муродали Махмадалиевич, ректор, Государственный педагогический институт Таджикистана в Раштском районе, пос. Рашт, Республика Таджикистан; sangov72@mail.ru.

Амини Реза Наджафабади, начальник отдела материалов, Голпайганский технологический университет, г. Голпайган, Иран.

Поступила в редакцию 16 декабря 2017 г.

DOI: 10.14529/met180301

INFLUENCE ADDITION OF CALCIUM ON CORROSION-ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF ALLOY AF5S10 IN AQUEOUS SOLUTIONS NaCl

U.Sh. Yakubov¹, yakubovumarali@gmail.com,

I.N. Ganiev¹, ganiev48@mail.ru,

M.M. Sangov², sangov72@mail.ru,

R.N. Amini³

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

² Branch of Tajik State Pedagogical University in Rasht, Rasht, Republic of Tajikistan,

³ Golpayegan University of Technology, Golpayegan, Iran

It is known that the annual loss of metals from corrosion is 10–15 % of their annual production volume. One way to reduce corrosion of metals is to develop ways to increase their corrosion resistance. One of the main ways to increase the resistance of alloys to corrosion is the purposeful alloying of elements complexly affecting the basic corrosion-electrochemical characteristics of alloys. The paper presents the results of corrosion-electrochemical study of the effect of calcium additives as a structure modifier on the anodic behavior of the alloy AF5S10 (Al + 5 % Fe + 10 % Si), in an aqueous solution of NaCl.

Anodic behavior of the AF5S10 alloy modified with calcium. Investigated potentiostatic method in the potentiodynamic mode at a potential sweep rate of 2 mV/s. The calcium supplements in the AF5S10 alloy were from 0.01 to 1.0 % by weight. The studies were carried out in NaCl medium aqueous solution at a concentration of 0.03 %, 0.3 % and 3 % mas. It is shown that with an increase in the chloride ion concentration in the NaCl aqueous solution, the values of free corrosion and pitting potentials are shifted to the negative region. The potential for free corrosion of alloys from time to time shifts to a positive area. This dependence also occurs with an increase in the concentration of the modifier (calcium) in the alloy AF5S10. At the same time, regardless of the composition of the alloys, an increase in their corrosion rate was noted with increasing concentration of NaCl in the solution. The addition of calcium to the alloy AF5S10 almost doubles its corrosion resistance. It is shown that the alloys corrode by the pitting mechanism and calcium as a modifier of the structure of the alloys promotes a shift in the pitting potentials and repassivation into the region of positive values, which, on the whole, leads to an increase in the resistance of alloys to pitting corrosion, and also to the healing of (reassuring) newly arising pitting foci.

Keywords: AF5S10 alloy, calcium, potentiostatic method, electrochemical behavior, NaCl electrolyte, free corrosion potential, pitting potential, corrosion rate.

References

1. Beleskiy V.M., Krivov G.A. *Alyuminiyevyye splavy (Sostav, svoystva, tekhnologiya, primeneniye)* [Aluminum Alloys (Composition, Properties, Technology, Application)]. Kiyev, KOMINTEKH, 2005. 365p.
2. Luts A.R., Suslina A.A. *Alyuminiy i ego splavy* [Aluminum and Its Alloys]. Samara, Samara State Tech. Univer., 2013. 81p.
3. Umarova T.M., Ganiev I.N. *Korroziya dvoynikh alyuminievikh splavov v neytralnikh sredakh* [Corrosion of Double Aluminum Alloys in Neutral Media]. Dushanbe, Donish, 2007. 258 p.
4. Dris M.E. *Alyuminievie splavi. Svoystva, obrabotka primeneniye* [Aluminum Alloys. Properties, Processing Application]. Moscow, Metallurgy Publ., 1979. 679 p.
5. Mondolfo L.F. *Struktura i svoystva alyuminievikh splavov* [Structure and Properties of Aluminum Alloys]. Metallurgy, 1979. 640 p.
6. Jailoev J.H., Ganiev I.N., Amonov I.T., Azimov Kh.Kh. [Anodic Behavior of the Alloy Al + 2.18 % Fe Doped with Calcium, in NaCl Electrolyte Medium]. *Izv. vuzov. Chemistry and chem. tech.*, 2015, vol. 58, no. 12, pp. 38–42. (in Russ.)
7. Azimov Kh.H., Ganiev I.N., Amonov I.T., Juraeva M.Sh. [A Comparative Study of the Anodic Behaviour of the Alloy AZh2,18 Inoculated with Lithium, Beryllium and Magnesium in NaCl]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2017, vol. 15, no. 3, pp. 45–53. (in Russ.)
8. Odinaev F.R., Ganiev I.N., Safarov A.G., Yakubov U.Sh. [Stationary Potentials and Anodic Behavior of an Alloy of AF 4.5, Doped with Bismuth]. *Bulletin SPbSIT (TU)*, 2017. no. 38. pp. 8–12. (in Russ.)
9. Odinaev F.R., Ganiev I.N., Safarov A.G., Yakubov U.Sh. [Potentiodynamic Study of Alloy AF 4.5 Doped with Lead in NaCl Electrolyte Medium]. *Processing of Solid and Laminar Materials*, 2016, no. 2 (45), pp. 68–71. (in Russ.)
10. Ganiev I.N., Yakubov U.Sh., Sangov M.M., Khakimov A.Kh. [Anodic Behavior of AlFe5K10 Alloy, Modified Strontium in Medium Electrolyte NaCl]. *Vestnik SibSIU*, 2017, no. 4 (22), pp. 57–62. (in Russ.)
11. Safarova F.R., Odinaeva N.B., Ganiev I.N., Obidov Z.R. [Anodic Behavior of the Alloy Zn5Al, Doped with Gallium, in the Environment of NaCl in Electrolyte]. *Bulletin of the Tajik Technical University, Series of Engineering Studies*, 2016, no. 4 (36), pp. 21–25. (in Russ.)
12. Yakubov U.Sh., Ganiev I.N., Sangov M.M. [Electrochemical Corrosion of AlFe5S10 Alloy, Modified by Barium, in Medium of Electrolyte of NaCl]. *Bulletin SPbSIT (TU)*, 2018, no. 43, pp. 23–27. (in Russ.)
13. Ganiev I.N., Jailoev J.H., Amonov I.T., Esanov N.R. [Influence of Alkaline Earth Metals on the Anodic Behavior of Alloy Al + 2.18 % Fe in a Neutral Environment]. *Bulletin of SibGIU*, 2017, no. 3, pp. 40–44. (in Russ.)
14. Niyozov O.Kh., Ganiev I.N., Mulloeva N.M., Hudayberdizoda S.U. [Potentiodynamic Study of Alloy Lead-Antimony (SSu3), Doped with Calcium in NaCl Electrolyte Medium]. *Vestnik SibSIU*, 2018, no. 1 (23), pp. 37–41. (in Russ.)
15. Ganiev I.N., Niyozov O.Kh., Mulloeva N.M., Eshov B.B. [Influence of Alkaline-Earth Metals on Anodic Behavior of Lead with Lead-Antimony (SSu3) Alloys in Neutral Environmental Electrolytes NaCl]. *Casting and Metallurgy*, 2018, no. 1, pp. 84–89. (in Russ.)
16. Niyozov O.Kh., Ganiev I.N., Mulloeva N.M. [Potentiodynamic Study of Alloy Lead-Antimony (SSu3), Doped with Barium in NaCl Electrolyte Medium]. *Bulletin TNU. The Series of Natural Sciences*, 2018, no. 1, pp. 120–126. (in Russ.)
17. Nazarov Sh.A., Ganiev I.N., Ganieva N.I. [Influence Neodymium on the Anodic Behavior of the Al + 6 % Li Alloy, in a Neutral Environment]. *Polytechnic Herald. Series: Engineering Studies*, 2017, vol. 1, no. 1 (37), pp. 47–53. (in Russ.)
18. Ganiev I.N., Mulloeva N.M., Niyozov O.H., Eshov B.B., Khojaev F.K. [Influence Alkaline Earth Metal Per Anodic Behavior of Lead in a Neutral Environment]. *Vestnik SibSIU*, 2017, no. 1 (19), pp. 49–53. (in Russ.)

19. Nazarov Sh.A., Ganiev I.N., Ganieva N.I. [The Effect of Praseodymium on the Anodic Behavior of the Alloy Al + 6 % Li, in a Neutral Environment]. *Bulletin SPbSIT (TU)*, 2017, no. 38, pp. 3–7. (in Russ.)

20. Nazarov Sh.A., Ganiev I.N., Norova M.T., Ganieva N.I. Irene Calliari. [Potentiodynamic as the Study of the Alloy Al + 6 % Li with Yttrium in the Environment of NaCl Electrolyte]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2016, vol. 14, no. 2, pp. 95–100. (in Russ.)

Received 16 December 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

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

FOR CITATION

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
