

*Дж.Х. Джайлоев<sup>1</sup>, И.Н. Ганиев<sup>1</sup>, И.Т. Амонов<sup>2</sup>, У.Ш. Якубов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан

<sup>2</sup>Технологический университет Таджикистана

## АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА Al + 2,18 % Fe, ЛЕГИРОВАННОГО СТРОНЦИЕМ В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

Изучение сплавов системы Al – Fe представляет большой практический интерес, поскольку открывает путь к использованию как вторичного алюминия, так и первичного металла с повышенным содержанием железа. В настоящее время низкосортный алюминий с повышенным содержанием железа не находит применения, за исключением дегазации и раскисления стали.

Авторами работы [1] изучено влияние добавок железа к алюминию на дифференц – эффект, выражающийся в изменении скорости саморастворения при анодной поляризации. Исследования проведены в среде электролита 3 %-ного NaCl, моделирующего морскую воду. Было показано, что чем выше содержание железа в алюминии, тем более положительными устанавливаются потенциалы. Коррозионный процесс определяется скоростью растворения из пассивного состояния. Показано, что с увеличением времени взаимодействия сплава с раствором скорость коррозии начинает зависеть от содержания железа в сплаве, увеличивается также предельный диффузионный ток по кислороду: для чистого алюминия  $i_{\text{дифф}} = 0,006 - 0,010 \text{ А/м}^2$ , а при содержании в сплаве 3 % железа  $i_{\text{дифф}} = 0,145 \text{ А/м}^2$ , т.е. приближается к расчетному значению [1].

Для используемых в качестве анода сплавов с содержанием железа менее 1,5 % коэффициент полезного использования (КПИ) достигает значения 75 % [2]. Таким образом, показана возможность разработки протекторных сплавов на основе вторичного алюминия при легировании третьим компонентом. Цель настоящих исследований заключается в разработке сплавов на основе низкосортного алюминия с повышенным содержанием железа для того, чтобы получить такой сплав, который отличался бы особыми свойствами и мог применяться в промышленности. Для достижения поставленной цели в качестве объекта исследования выбран сплав эвтектического состава Al + 2,18 % Fe, который подвергался легированию стронцием в количествах

от 0,005 до 0,5 % (по массе). Выбор стронция как легирующего компонента объясняется его модифицирующим действием на структуру алюминиевых сплавов [3].

Сплавы для коррозионно-электрохимических исследований получали в шахтной печи сопротивления типа СШОЛ с использованием двойных алюминиевых лигатур с железом (2,18 %) и стронцием (5 %). Применение лигатур дает возможность уменьшить угар легирующих металлов, а также получить сплавы исследуемых систем при более низких температурах. Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали стержни диам. 8 и длиной 140 мм. Нерабочая часть образцов изолировалась диэлектриком (смесь 50 % канифоли и 50 % парафина). Рабочей поверхностью служил торец электрода. Перед погружением образца в рабочий раствор его торцевую часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжиривали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянной 20 °С с помощью термостата МЛШ-8.

Для изучения электрохимических свойств тройных сплавов применяли потенциостатический метод исследования [4]. Электрохимические испытания образцов проводили в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с в среде электролита NaCl. ГОСТ 908 – 85 «Металлы и сплавы. Определение показателей коррозии и коррозионной стойкости» рекомендует провести определение коррозионной стойкости металлов в среде электролита 3 %-ного NaCl. Для выяснения влияния хлорид-ионов на коррозионную стойкость сплавов исследования также проводились при 10-кратном (0,3 % NaCl) и 100-кратном (0,03 % NaCl) уменьшении концентрации коррозионно-активного хлорида. Электродом сравнения служил хлорсеребряный, вспомогательным – платиновый.

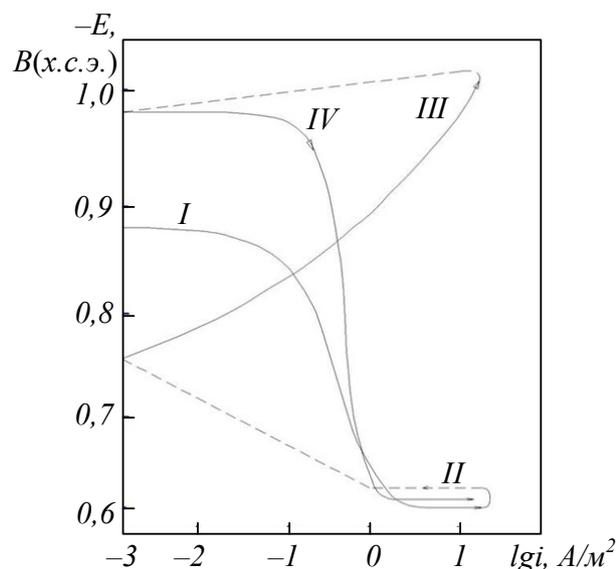


Рис. 1. Полная поляризационная кривая сплав Al + 2,18 % Fe, в среде электролита 3 %-ого NaCl

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 (кривая II) и по пересечению кривых I и II определяли величину потенциала репассивации. Далее переходили в катодную область до значения потенциала  $-1,1$  В для удаления оксидных пленок с поверхности электрода (кривая III) в результате подщелачивания при электродной поверхности. Наконец образцы поляризовали вновь в положительном направлении и из анодных кривых определяли основные электрохимические параметры (кривая IV).

В качестве примера на рис. 1 представлена полная поляризационная диаграмма для исходного сплава Al + 2,18 % Fe в среде электролита 3 %-ного NaCl. Из полученных таким образом поляризационных кривых определяли основные электрохимические характеристики сплавов: потенциал питтингообразования ( $E_{\text{по}}$ ), потенциал и ток коррозии ( $E_{\text{кор}}$  и  $i_{\text{кор}}$ ). Потенциал репассивации ( $E_{\text{рп}}$ ) определялся графически как первый изгиб на обратном ходе анодной кривой, или как точка пересечения прямого и обратного ходов. Расчет тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафелевской наклонной  $B_k = 0,12$  В, поскольку в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода [5]. Скорость коррозии в свою очередь является функцией тока коррозии, находимой по формуле

$$K = i_{\text{кор}} \cdot k,$$

где  $k = 0,335$  г/(А·ч) для алюминия.

Методика снятия поляризационных кривых сплавов в среде электролита NaCl подробно описана в работах [5 – 8] и показана на рис. 1 – 3.

Результаты исследований представлены в таблице и на рис. 2. Обобщены временные зависимости потенциала свободной коррозии (стационарного потенциала) сплава Al + 2,18 % Fe, легированного различным количеством стронция в средах 0,03, 0,3 и 3%-ного NaCl. Результаты исследования свидетельствуют, что в первые минуты погружения сплава в раствор электролита NaCl происходит резкое смещение потенциала в положительную область. У сплавов со стронцием стабилизация потенциала коррозии наблюдается в течение 30 – 40 мин. Динамика изменения потенциала свободной коррозии в среде электролита NaCl различной концентрации имеет одинаковый характер.

Исследования показывают, что добавки стронция в пределах 0,005 – 0,5 % (по массе) способствуют смещению потенциала свободной коррозии в положительную область во всех исследованных средах электролита NaCl. При этом потенциалы питтингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений (см. таблицу).

Скорость коррозии сплавов, содержащих 0,005 – 0,5 % стронция, почти в 1,5 раза меньше, чем у исходного алюминиевого сплава Al + 2,18 % Fe (см. таблицу). Добавки стронция способствуют снижению скорости анодной коррозии, о чем свидетельствует смещение анодных кривых легированных сплавов в более положительную область потенциалов (рис. 3). При этом по мере увеличения концентрации хлорид-ионов в электролите NaCl скорость коррозии сплавов

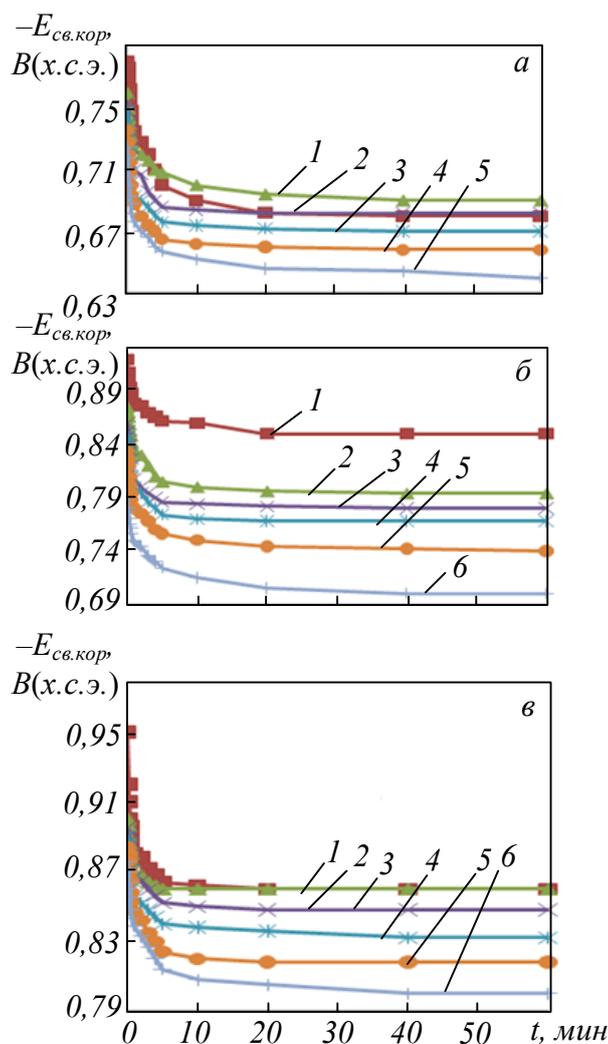


Рис. 2. Временная зависимость потенциала свободной коррозии ( $-E_{св.корр}$ , В) сплава Al + 2,18 % Fe, содержащего стронций, % (по массе): 0 (1), ,005 (2), 0,01(3), 0,05(4), 0,1(5), 0,5(6), в среде электролита: 0,03 % (а); 0,3 % (б) и 3 %-ого (в) NaCl

увеличивается независимо от содержания легирующего компонента – стронция, что сопровождается смещением в положительную область потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации.

Как известно, алюминий в хлоридсодержащих растворах подвергается питтинговой коррозии. При этом адсорбционный Cl<sup>-</sup>-ион образует растворимый комплекс с металлом, который диффундирует в раствор. При этом адсорбция хлорид-иона идет в тех местах, которые в последующем являются зародышами питтингов. По данным работы [9] адсорбция хлорид-иона зависит от потенциала электрода. Отмечен рост концентрации хлорид-ионов в оксидной пленке при потенциале коррозии вблизи потенциала питтингообразования. Хлорид находился на внешней поверхности пленки толщиной 15 – 20 Å.

Применительно к настоящему исследованию следует отметить, что с увеличением концентрации хлорид-ионов в растворе потенциал питтингообразования уменьшается (см. таблицу). Ско-

рость иницирования питтингов увеличивается с ростом концентрации хлорид-ионов. Показано, что в нейтральных хлоридных электролитах pH среды внутри питтингов, щелей, коррозионных трещин поверхности алюминия достигает значения 3,2 – 3,5, когда в основном растворе pH = 7,0 – 7,8 [9]. Снижение pH раствора сокращает продолжительность инкубационного периода питтингов и щелевой коррозии и ускоряет ее развитие.

**Выводы.** Модифицирование сплава Al + 2,18 % Fe стронцием способствует облагораживанию электрохимических потенциалов исходного сплава, что способствует снижению скорости коррозии в исследованной среде электролита NaCl различной концентрации. Сплав Al + 2,18 % Fe является эвтектическим и состоит из включений  $\alpha$ -Al-вого твердого раствора и кристаллов FeAl<sub>3</sub>. Модифицирование стронцием способствует измельчению кристаллов эвтектики, следствием которого является повышение устойчивости тройных сплавов в агрессивной среде электролита NaCl.

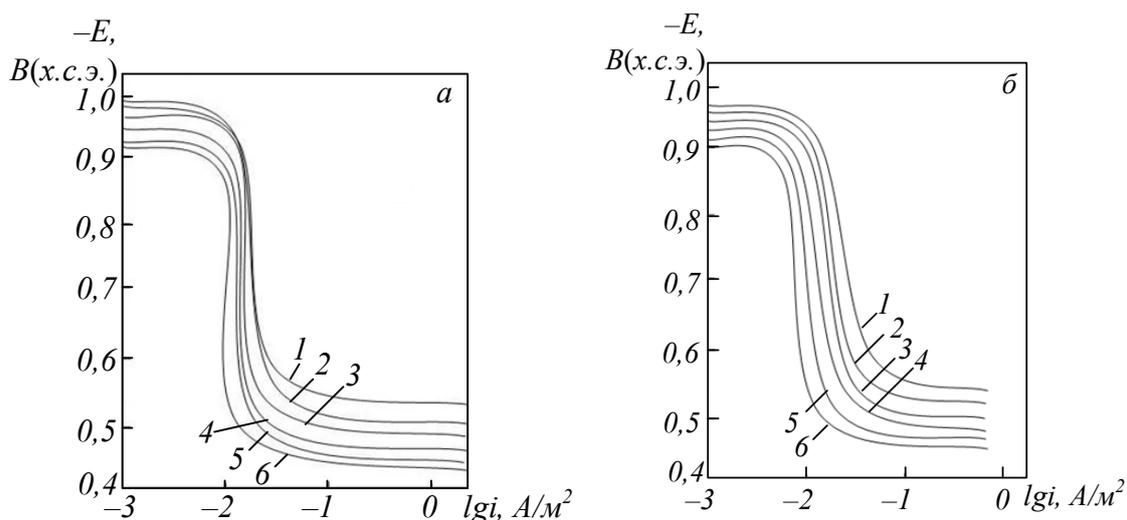


Рис. 3 Потенциодинамические анодные поляризационные кривые (2 мВ/с) сплава Al + 2,18 % Fe, содержащего стронция, % (по массе): 0(1), 0,005(2), 0,01(3), 0,05(4), 0,1(5), 0,5(6), в среде электролита 3 % (а) и 0,3 %-ого (б) NaCl

**Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э.) сплава Al + 2,18 % Fe, легированного стронцием, в среде электролита NaCl**

Среда NaCl, % (по массе)	Содержание стронция, % (по массе)	Электрохимические потенциалы (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{\text{св.корр}}$ , В	$-E_{\text{корр}}$ , В	$-E_{\text{п.о.}}$ , В	$-E_{\text{рп}}$ , В	$i_{\text{кор}} \cdot 10^{-2}$ , А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ , г/(м <sup>2</sup> ·ч)
0,03	0	0,680	0,960	0,484	0,580	0,130	4,35
	0,005	0,690	0,970	0,518	0,560	0,122	4,09
	0,01	0,682	0,956	0,500	0,550	0,118	3,95
	0,05	0,670	0,930	0,478	0,546	0,115	3,85
	0,1	0,658	0,910	0,460	0,520	0,112	3,69
	0,5	0,640	0,898	0,450	0,500	0,100	3,35
0,3	0	0,850	0,978	0,560	0,600	0,160	5,36
	0,005	0,794	0,980	0,530	0,570	0,145	4,86
	0,01	0,780	0,960	0,510	0,565	0,130	4,36
	0,05	0,768	0,942	0,500	0,560	0,124	4,15
	0,1	0,740	0,920	0,480	0,526	0,120	4,02
	0,5	0,700	0,900	0,464	0,515	0,118	3,95
3,0	0	0,860	0,994	0,600	0,620	0,170	5,70
	0,005	0,860	0,998	0,550	0,580	0,162	5,42
	0,01	0,848	0,970	0,534	0,570	0,150	5,03
	0,05	0,832	0,960	0,518	0,562	0,146	4,89
	0,1	0,818	0,954	0,500	0,540	0,134	4,48
	0,5	0,800	0,925	0,480	0,522	0,130	4,35

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красноярский В.В., Сайдалиев Н.Р. Коррозионно-электрохимические свойства сплавов алюминия с железом в нейтральных растворах // Защита от коррозии и окружающей среды. 1991. Вып. 3. С. 14 – 19.
2. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах. – Душанбе: Дониш, 2007. – 258 с.
3. Ганиев И.Н., Пархутик П.А., Вахобов А.В., Куприянова И.Ю. Модифицирование силуминов стронцием. – Минск: Наука и техника, 1985. – 143 с.
4. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите / Под ред. акад. Я.М. Колотыркина. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
5. Одинаев Ф.Р., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Якубов У.Ш. Потенциодинамическое исследование сплава АЖ4,5, легированного свинцом, в среде электролита NaCl // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2016. № 2 (45). С. 64 – 68.
6. Одинаев Ф.Р., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Якубов У.Ш. Стационарные потенциалы и анодное поведение сплава АЖ4,5, легированного висмутом // Известия СПбГТИ(ТУ). 2017. № 38. С. 8 – 12.
7. Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Сангов М.М., Хакимов А.Х. Анодное поведение сплава АЖ5К10, модифицированного стронцием, в среде электролита NaCl // Вестник СибГИУ. 2017. № 4 (22). С. 57 – 62.
8. Джайлоев Дж. Х., Ганиев И.Н., Амонов И.Т., Азимов Х.Х. Анодное поведение сплава Al + 2,18 % Fe, легированного кальцием, в среде электролита NaCl // Изв. вуз. Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 12. С. 38 – 42.
9. Foley R.T. Localized corrosion of aluminum alloys // Corrosion (USA). 1986. Vol. 42. No. 55. P. 277 – 288.

© 2018 г. Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев,  
И.Т. Амонов, У.Ш. Якубов  
Поступила 16 апреля 2018 г.