ЖУРНАЛ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ, 2023, том 97, № 12, с. 1776–1782

ЭЛЕКТРОХИМИЯ. ГЕНЕРАЦИЯ И АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

УДК 669.45.018.8.24/893

ВЛИЯНИЕ БАРИЯ НА КОРРОЗИОННО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СВИНЦОВОГО БАББИТА ББа (PbSb15Sn10Ba), В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

© 2023 г. И. Н. Ганиев[a,*], А. Х. Одинаев[a], Ф. К. Ходжаев[a], Х. М. Ходжаназаров[a]

[a] *Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, 734042 Душанбе, Республика Таджикистан*

**e-mail: ganievizatullo48@gmail.com*

Поступила в редакцию 05.01.2023 г.
После доработки 29.05.2023 г.
Принята к публикации 31.05.2023 г.

Приведены результаты исследования влияния добавок бария (0.01–1.0 мас. %), как модификатора структуры, на анодное поведение свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba), в среде электролита NaCl. Исследования проведены потенциостатическим способом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с. Исследования показали, что со временем, потенциал свободной коррозии сплавов смещается в положительную сторону и с ростом концентрации модификатора (бария) в свинцовом баббите приобретает положительное значение. Добавка бария к свинцовому баббиту ББа (PbSb15Sn10Ba) на 20–25% повышает его коррозионную стойкость. Отмечено увеличение скорости коррозии сплавов независимо от их состава от концентрации NaCl в растворе. Показано, что рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl приводит к снижению потенциалов свободной коррозии, репассивации и питингообразования сплавов.

Ключевые слова: свинцовый баббит ББа (PbSb15Sn10Ba), барий, потенциостатический метод, электрохимическое поведение, электролит NaCl, потенциал свободной коррозии, скорость коррозии

DOI: 10.31857/S0044453723120105, **EDN:** WAMZEA

В настоящее время в качестве подшипников или антифрикционных материалов используют баббиты, основу которых составляют мягкие пластичные металлы свинец и олово. Одним из основных элементов в свинцовых баббитах являются сурьма и олово.

Подшипники, которые работают при более высоких ударных нагрузках и жестких температурных режимах, преимущественно изготавливают на оловянной основе. При заливке толстостенных подшипников в больших количествах используют безоловянный свинцово-кальциевый баббит [1, 2].

Баббиты серии Б89 используют для особо ответственных узлов и механизмов, работающих при высоких скоростях и давлениях выше 150 кг/см^2, например, для подшипников авиадвигателей. Баббиты типа Б83 применяют для изготовления подшипников электродвигателей, компрессоров с большой мощностью, турбин, дизелей и паровых машин. Из баббитов типа Б16 изготавливают подшипники дробилок и паровозов, а также ненагруженные вкладыши электровозов, электродвигателей и паровых машин. Баббиты серии БН – это подшипники, применяемые в легковых и грузовых автомобилях, тракторах, паровозах и компрессорах, а типа БТ применяются для изготовления подшипников автомобильных и тракторных двигателей. Баббиты типа Б6 – это подшипники для шаровых мельниц, нефтяных двигателей и дымососов, а баббиты серии БК предназначены для заливки толстостенных подшипников (толщина слоя более 3 мм) [3–5].

Баббиты долговечны, износоустойчивы, быстро и плотно притираются к детали, обеспечивают бесшумность при трении и благодаря своей низкой теплопроводности, исключают перегрев двигателя [6–9].

В литературе имеется сведение о влиянии щелочных металлов на коррозионно-электрохимическое поведение свинцового баббита БТ (PbSb15Sn10) [10–13].

Сообщается что, введение в состав свинца легирующих элементов: сурьмы, олова, кадмия, теллура, мышьяка и др., образующих различные химические соединение и твердые растворы, существенно улучшает механические свойства свинца [14–17].

Согласно ГОСТ 1320-74 (ИСО 4383-91) свинцовый баббит БТ (PbSb15Sn10) состоит из Pb + + 15 мас. % Sb + 10 мас. % Sn. В связи с тем, что данный баббит подвергался нами модифициро-

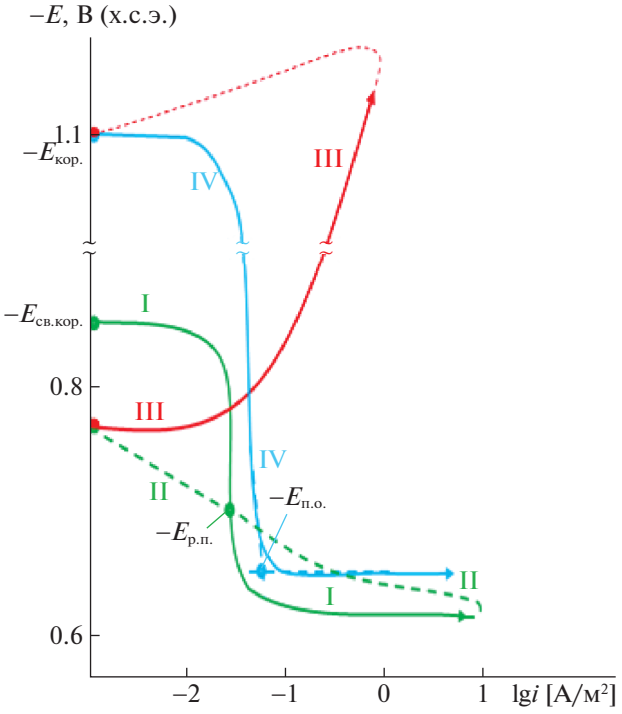

Рис. 1. Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba), в среде электролита 3.0%-ного NaCl. Обозначения см. текст.

ванию металлическим барием, его аббревиатура была изменена на ББа (PbSb15Sn10Ba). В литературе и в сети интернета нами не обнаружены сведения о влиянии добавки бария на коррозионное поведение данного баббита.

Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния малых добавок бария на анодное и коррозионное поведение свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) в среде электролита NaCl.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Свинцовый баббит ББа (PbSb15Sn10Ba) по ГОСТ 1320-74 (ИСО 4383-91) с барием получали в шахтной лабораторной печи сопротивления типа СШОЛ при температуре 450–500°С путем совместной плавки свинца марки С1 (99.985% Pb) ГОСТ 3778-77, олова марки ОВЧ-000 (99.999% Sn) ГОСТ 860-75, сурьмы металлической марки Су00 (99.9% Sb) ГОСТ 1089-82 и металлического бария марки БМ1 (99.9% Ba) ТУ 48-4-465-85. Содержание бария в исходном сплаве составило 0.01, 0.1, 0.5, 1.0 мас. %. Из полученного расплава отливали цилиндрические образцы диаметром 8 мм и длиной 140 мм в металлический кокиль для испытаний. Для исследования электрохимических свойств торцевая часть образцов использовалась в качестве рабочего электрода.

Состав сплавов контролировался взвешиванием шихты и полученных сплавов. Для проведения исследования использовали сплавы, масса которых составляла не менее 2 отн.% от массы шихты.

Образцы сплавов перед исследованием зачищались наждачной бумагой, последовательно переходя от крупного до мелкого (№ 2–00). Таким образом, периферийная часть образца, служащая электродом, была подготовлена механической обработкой для испытаний. Для удаления оксидов с поверхности электродов при записи потенциодинамических кривых выполнялась катодная поляризация.

Электрохимическое исследование образцов проводилось на импульсном потенциостате ПИ-50-1.1 с помощью программатора ПР-8, имеющего возможность автоматической записи в ЛКД-4. Температура раствора поддерживалась постоянной на уровне 25°С, т.е. контролировалась с помощью термостата МЛШ-8. Воспроизводимость результатов на электродах одного и того же состава была в пределах ±2 мВ. Электрохимическое исследование свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) проводили по методике, описанной в работах [18, 19].

Подробная последовательность снятия поляризационных кривых образцов из свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba), в среде электролита 3.0% NaCl показана на рис. 1.

При электрохимических исследованиях образцы после погружения в электролит поляризовали в положительном направлении до плотности тока 1 А/м^2 (рис. 1, кривая *I*). Далее образцы поляризовали в противоположном направлении (рис. 1, кривые *II* и *III*) до потенциала –1.200 В, что привело к растворению оксидной пленки с поверхности образцов. Наконец, образцы снова поляризовали в положительном направлении, чтобы получить анодную поляризационную кривую сплавов (рис. 1, кривая *IV*). На рис. 1 показаны все четыре потенциодинамические кривые образцов, снятые в среде электролита 3.0%-ного NaCl при скорости развертки потенциала 2 мВ/с. Пунктирными линиями обозначен обратный ход поляризационных кривых.

По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры: $E_{ст}$ или $E_{св.кор}$ – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии; $E_{кор}$ – потенциал коррозии; $E_{п.о}$ – потенциал питтингообразования; $E_{рп}$ – потенциал репассивации; $i_{кор}$ – ток коррозии.

Процесс коррозии свинцового баббита контролируется катодной реакцией ионизации кислорода в нейтральной среде, в связи с чем ток коррозии рассчитывался с учетом тафелевской

Таблица 1. Коррозионно-электрохимические характеристики свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) с барием, в среде электролита NaCl

Среда NaCl	Содержание Ba в сплаве	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии сплавов	
мас. %		$-E_{св.кор}$	$-E_{кор}$	$-E_{п.о}$	$-E_{рп}$	$i_{кор}$, А/м^2	$K \times 10^3$, г/(м^2 ч)
0.03	–	0.612	1.000	0.510	0.611	0.56	21.64
	0.01	0.547	0.949	0.458	0.559	0.44	17.00
	0.1	0.534	0.940	0.448	0.550	0.42	16.23
	0.5	0.522	0.931	0.439	0.540	0.40	15.46
	1.0	0.510	0.922	0.430	0.532	0.38	14.68
0.30	–	0.720	1.066	0.595	0.690	0.75	28.98
	0.01	0.658	1.010	0.540	0.639	0.63	24.34
	0.1	0.647	1.000	0.530	0.630	0.61	23.57
	0.5	0.636	0.989	0.519	0.621	0.59	22.80
	1.0	0.625	0.980	0.510	0.613	0.57	22.03
3.00	–	0.850	1.100	0.650	0.700	0.90	34.78
	0.01	0.800	1.052	0.594	0.652	0.78	30.14
	0.1	0.796	1.037	0.582	0.643	0.76	39.34
	0.5	0.782	1.026	0.576	0.634	0.74	28.60
	1.0	0.766	1.014	0.567	0.620	0.72	27.82

константы ($b_к$ = 0.12 В) из катодной ветви потенциодинамических кривых.

Скорость коррозии определяли по току коррозии ($i_{кор}$) по формуле $k = i_{кор}k$, где k = 3.865 г/(А ч) – электрохимический эквивалент свинца.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование коррозионно-электрохимического поведения свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) с барием проводилось в соответствии с рекомендациями ГОСТ 9.017-74, в среде электролита 3%-ного NaCl, как имитатора морской среды.

Результаты исследования потенциала свободной коррозии свинцового баббита с барием, в трех средах электролита NaCl представлены на рис. 2. Как видно, от времени и содержания бария в исходном сплаве наблюдается смещение в область положительных значений величины потенциала свободной коррозии сплавов. С ростом концентрации хлорид-иона в электролите NaCl величина $E_{св.кор.}$ уменьшается.

Коррозионно-электрохимические параметры свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) с барием, в среде электролита NaCl с концентрацией 0.03, 0.3 и 3.0 мас. %, обобщены в табл. 1. С увеличением содержания бария в свинцовом баббите потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации смещаются в положительную область значений. Модифицирование барием свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) повышает его коррозионную стойкость на 20–25% (рис. 3).

Рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl способствует уменьшению основных электрохимических потенциалов и увеличению плотности тока и скорости коррозии сплавов (табл. 1).

Зависимость плотности тока коррозии свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) с барием от концентрации NaCl показано на рис. 4. Модифицирование барием снижает величину плотности тока коррозии исходного сплава. С ростом концентрации хлорид-иона в электролите NaCl наблюдается рост плотности тока коррозии сплавов независимо от содержания бария в них.

На рис. 5 представлены анодные ветви потенциодинамических кривых исследованных сплавов. Видно, что плотность тока коррозии исходного сплава уменьшается с увеличением концентрации бария в нем, а потенциалы свободной коррозии ($E_{св.кор}$) и питтингообразование ($E_{п.о}$) смещаются при этом в положительную область значений.

На рис. 6 представлены микроструктуры анализа свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) с различным содержанием бария. Видно, что микроструктуры сплавов, содержащих барий характеризуются более дисперсной эвтектической составляющей и компактной кристаллизацией первичных выделений свинцово-сурьмяных фаз.

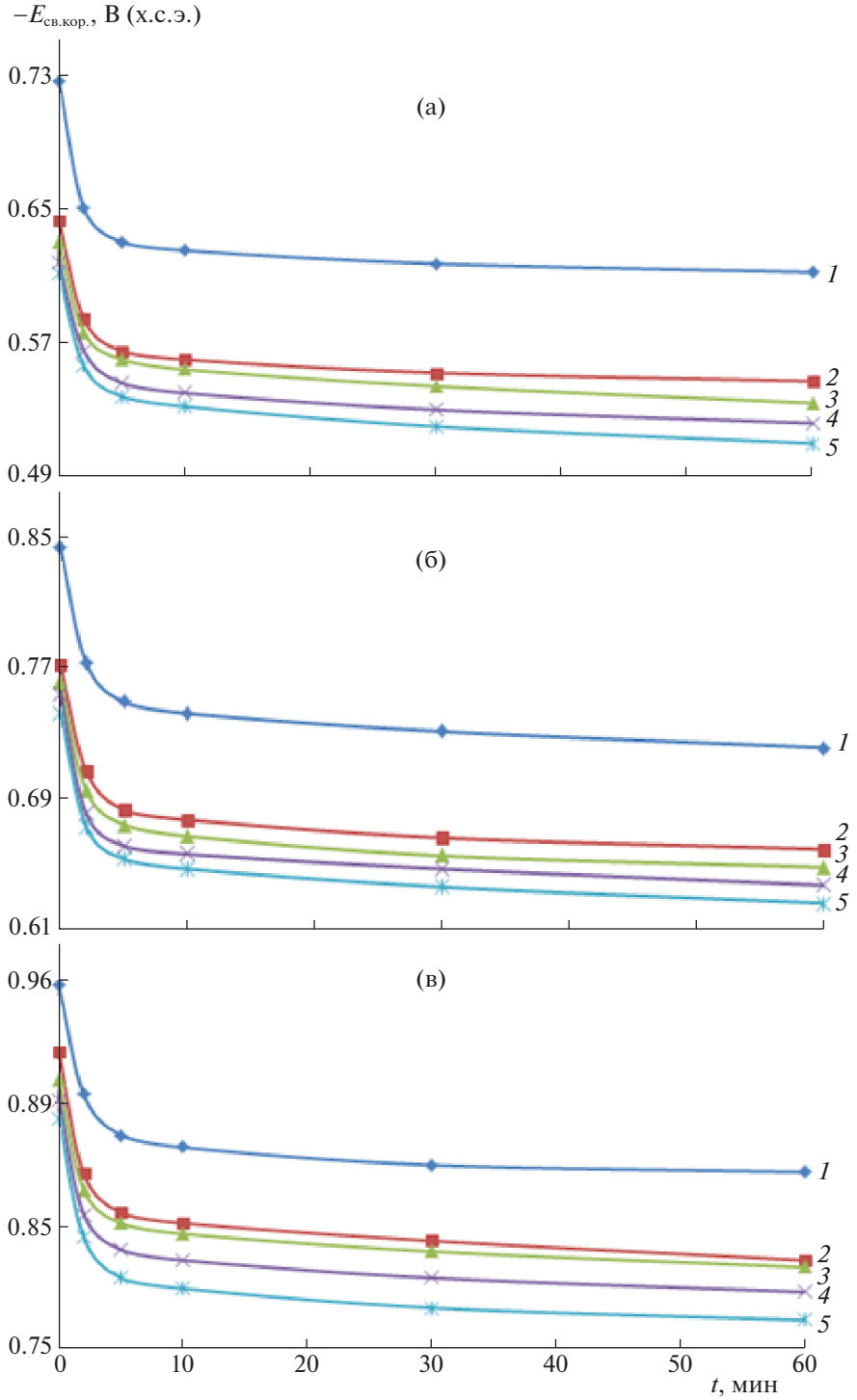

Рис. 2. Потенциал свободной коррозии свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) (*1*) с барием, мас. %: 0.01 (*2*), 0.1 (*3*), 0.5 (*4*), 1.0 (*5*), в зависимости от времени, в среде электролита 0.03% (а), 0.3% (б) и 3.0%-ного (в) NaCl.

Сравнение плотности тока коррозии и скорости коррозии свинцового баббита БТ (PbSb15Sn10), легированного литием, натрием и калием в среде электролита NaCl различной концентрации [10–13] с таковыми для сплава, легированного барием показывает, что скорость коррозии последнего сплава на 10% меньше, чем у сплава, легированного щелочными металлами и на 20% меньше по сравнению с исходным нелегированным сплавом (табл. 2).

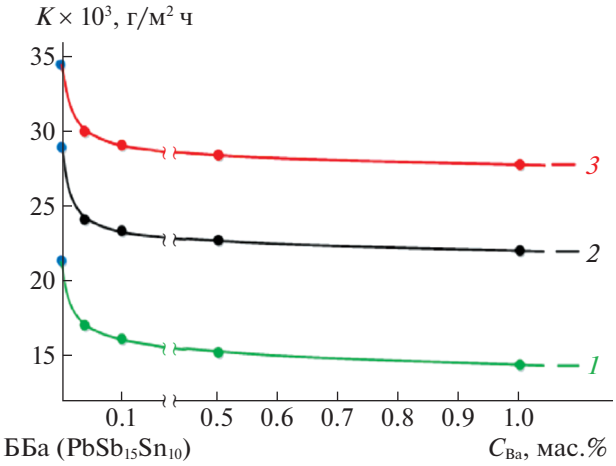

Рис. 3. Зависимости скорости коррозии свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) от содержания бария в среде электролита 0.03 (*1*), 0.3 (*2*), 3.0%-ного (*3*), NaCl.

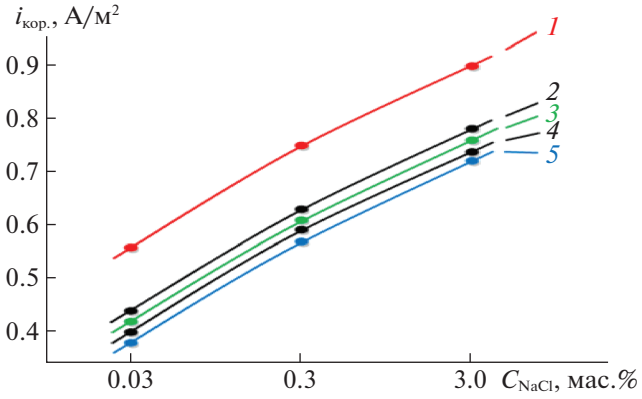

Рис. 4. Зависимости плотности тока коррозии свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) (*1*), содержащего барий, мас. %: 0.01 (*2*), 0.1 (*3*), 0.5 (*4*), 1.0 (*5*) от концентрации NaCl.

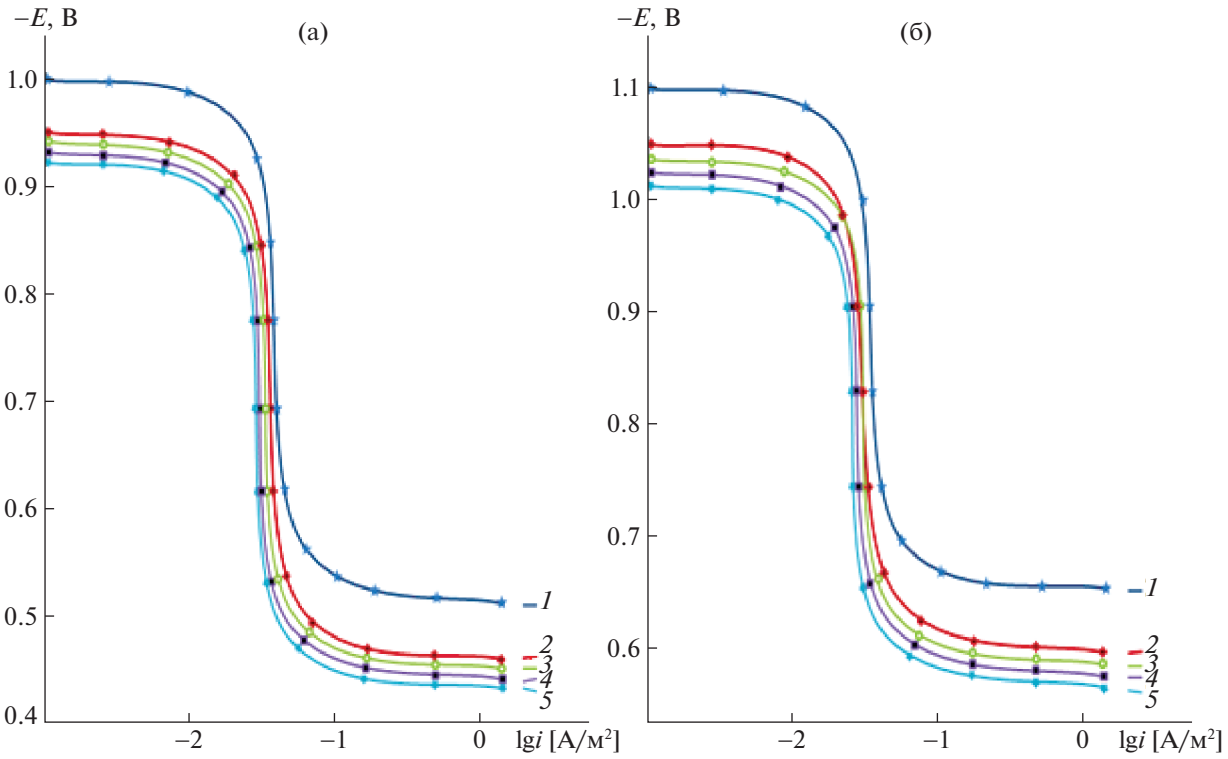

Рис. 5. Потенциодинамические анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) (*1*), содержащего барий, мас. %: 0.01 (*2*), 0.1 (*3*), 0.5 (*4*), 1.0 (*5*), в среде электролита 0.03% (а) и 3.0%-ного (б) NaCl.

Таким образом, на основе анализа коррозионно-электрохимического поведения свинцового баббита с барием ББа (PbSb15Sn10Ba), в среде электролита NaCl сделан вывод, что добавка модифицирующего элемента до 1.0 мас. %, независимо от состава электролита NaCl, уменьшает скорость коррозии исходного сплава на 20–25%.

Анализ влияния хлорид-иона на электрохимические характеристики свинцового баббита с барием ББа (PbSb15Sn10Ba) показал, что снижение концентрации хлорид-иона в электролите NaCl в 100 раз способствует уменьшению скорости коррозии сплавов на 80% и сдвигу электродных потенциалов в положительную область значений.

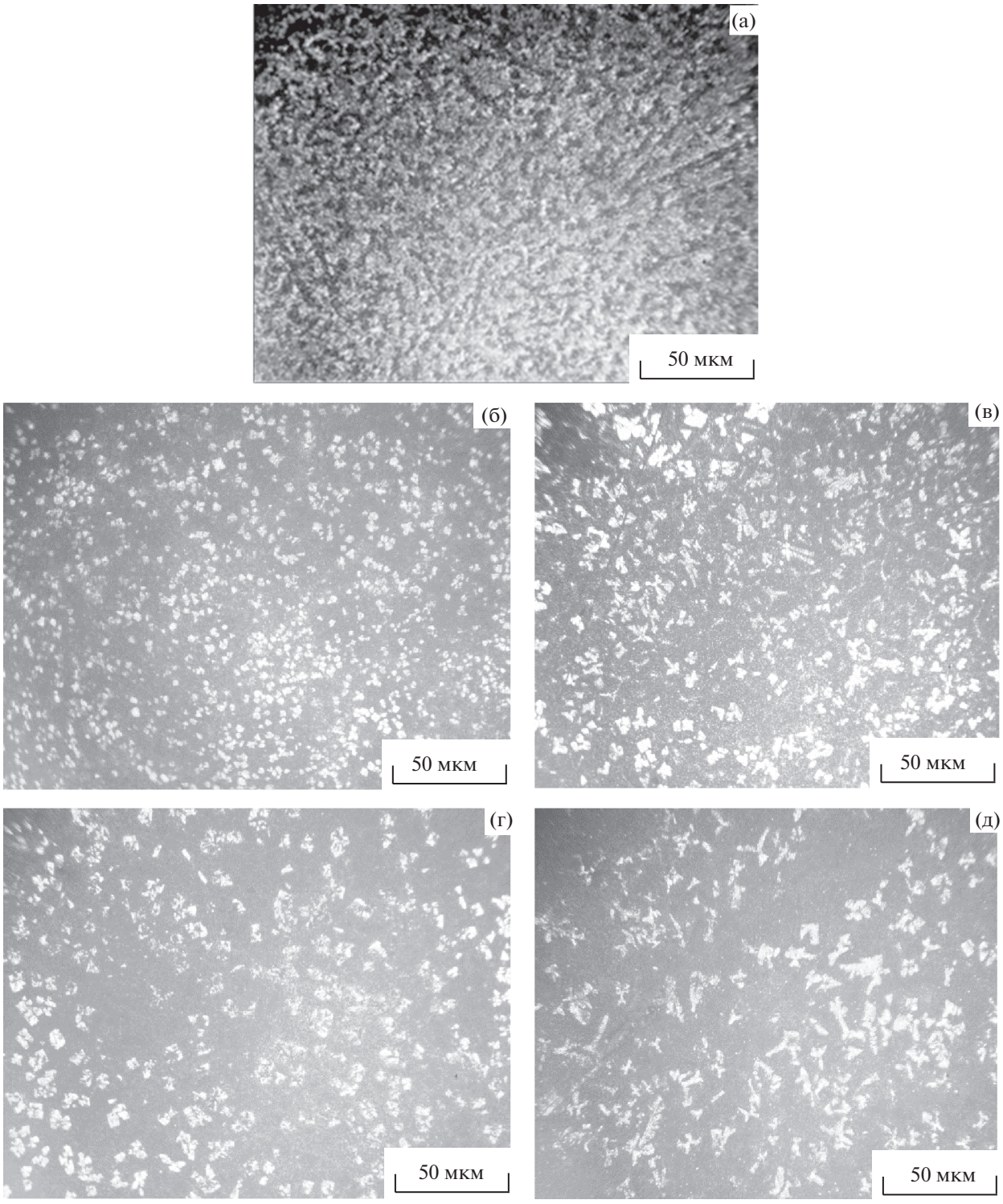

Рис. 6. Микроструктуры (×500) свинцового баббита ББа (PbSb15Sn10Ba) 0.0 (а), содержащего барий, мас. %: 0.01 (б), 0.1 (в), 0.5 (г) и 1.0 (д).

Рост концентрации хлорид-иона в электролите NaCl способствует увеличению скорости коррозии свинцового баббита с барием ББа (PbSb15Sn10Ba) на 80% и смещению электрохимических потенциалов в область отрицательных значений. При переходе от сплавов с литием к сплавам с калием и барием наблюдается уменьшение скорости коррозии баббита.

Таблица 2. Зависимость скорости коррозии ($K \times 10^{-3}$, г/(м^2 ч)) свинцового баббита БТ (PbSb15Sn10) с литием, натрием и калием в среде NaCl [10–13]

C, мас. %	Среда NaCl, мас. %					
	0.03%		0.3%		3.0%	
	$i_{кор}$, А/м^2	$K \times 10^3$, г/(м^2 ч)	$i_{кор}$, А/м^2	$K \times 10^3$, г/(м^2 ч)	$i_{кор}$, А/м^2	$K \times 10^3$, г/(м^2 ч)
0.0	0.56	21.64	0.75	28.98	0.90	34.78
1.0Li	0.48	18.55	0.48	25.91	0.82	31.70
1.0Na	0.48	18.16	0.66	25.50	0.81	31.30
1.0K	0.45	17.39	0.64	24.73	0.79	30.53
1.0Ba	0.38	14.68	0.57	22.03	0.72	27.82

Обозначения: C – содержание в баббите.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г. и др.* Материаловедение. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 648 с.
2. *Семенов А.П.* Антифрикционные материалы: опыт применения и перспективы. Трение и смазка в машинах и механизмах. Машиностроение. 2007. № 12. С. 21.
3. *Хохлов Ю.Ю., Ковтунов А.И., Мямин С.В.* // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства. Труды IV Международной научно-технической конференции. Тольятти. 2015. С. 48.
4. *Бешевли О.Б., Дуюн Т.А.* // Сб. тр. Всерос. совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 29.
5. *Шалунов Е.П., Смирнов В.М., Илларионов И.Е.* // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Матер. III междунар. научно-практической конференции. Чебоксары. 2017. С. 300.
6. *Потехин Б.А., Илюшин В.В., Христолюбов А.С.* // МиТОМ. 2009. № 8. С. 16.
7. *Орлина А.С., Круглова М.Г.* Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: Т. 4. М.: Машиностроение, 1990. 289 с.
8. *Мизгарев А.С.* // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2019. Т. 9. С. 35.
9. *Никольский К.К.* Защита от коррозии металлических кабелей. М.: Связь, 1970. 170 с.
10. *Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К.* // Вестн. казанского гос. технич. ун-та. им. А.Н. Туполева. 2022. № 1. С. 7.
11. *Ходжаназаров Х.М., Ганиев И.Н., Ходжаев Ф.К.* // Вестн. саратовского гос. технич. ун-та. 2022. № 1 (92). С. 86.
12. *Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К., Одиназода Х.О.* // Вестн. Пермского национального исследовательского политех. ун-та. Химическая технология и биотехнология. 2022. № 1. С. 52.
13. *Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К.* // Ползуновский вестн. ФГБОУ ВО “Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова”. 2022. № 1. С. 126.
14. *Chikova O.A., Sakun G.V., Tsepelev V.S.* // Rus. J. of Non-Ferrous Metals. 2016. V. 57. P. 580.
15. *Asiful H.S., El-Sayed M.S., Sohail M.A. et al.* // PLOS ONE 13 (5): e0197227. 8 May 2018.
16. *Osório W.R., Rosa D.M., Garcia A.* // Materials & Design 2012. № 34. P. 660.
17. *Osório W.R., Freitas E.S., Peixoto L.C. et al.* // J. Power Sour. 2012. № 207. P. 183.
18. *Ганиев И.Н., Окилов Ш.Ш., Эшов Б.Б. и др.* // Материаловедение. 2022. № 12. С. 33.
19. *Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыксин И.Е.* Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите. Л.: Химия, Ленинград. отд. 1972. 238 с.