

УДК 620.193

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И СФОРМИРОВАННЫХ НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ МДО-ПОКРЫТИЙ

© 2021 г. С. В. Савушкина^{a, b, *}, А. В. Эпельфельд^b, Л. Е. Агуреев^{a, **},
М. В. Герасимов^c, Н. Л. Богдашкина^c, В. Э. Игнатенко^c

^aИсследовательский центр им. М.В. Келдыша, Москва, 125438 Россия

^bМосковский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),
Москва, 125993 Россия

^cИнститут физической химии и электрохимии, Москва, 119071 Россия

*e-mail: sveta_049@mail.ru

**e-mail: nanocentre@kerc.msk.ru

Поступила в редакцию 21.06.2020 г.

После доработки 14.08.2020 г.

Принята к публикации 20.08.2020 г.

Исследовано электрохимическое поведение в 3%-ном растворе NaCl полученных порошковой металлургией спеченных материалов из алюминия, его композиций с медью (1, 2 и 3%) и покрытий на их поверхности, сформированных методом микродугового оксидирования (МДО). Значения плотностей анодного и катодного токов на поляризационных зависимостях для образцов компактного алюминия примерно в 4 и 2 раза меньше по сравнению со спеченным порошковым алюминием, который, в свою очередь, менее коррозионно-активен, чем алюминиево-медные композиты. МДО-покрытия приводят к снижению анодных и катодных токов, что свидетельствует о их положительном влиянии на коррозионную стойкость указанных материалов. С помощью растровой электронной микроскопии и рентгенофазового анализа изучена структура алюминиево-медных композитов с МДО-покрытиями после электрохимических исследований.

Ключевые слова: порошковая металлургия, алюминиево-медные композиты, микродуговое оксидирование, МДО-покрытия, морфология поверхности, структура, фазовый состав, коррозионно-защитная способность, растровая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, электрохимические поляризационные исследования.

DOI: 10.31857/S1028096021030134

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленности и новых технологий требует разработки новых конструкционных материалов и модифицирования их поверхности различными методами для придания особых свойств. Большие перспективы в этом открывают исследования в области создания композиционных материалов с алюминиевой матрицей. Порошковые алюминиевые материалы являются перспективным конструкционным материалом с точки зрения их малого веса и низких капитальных затрат на производство. Однако их использование ограничено применениями, в которых не требуются высокие прочность и коррозионная стойкость. Повышению эксплуатационных характеристик порошковых алюмоматричных композитов способствует их модифицирование легирующими добавками металлов (Cu, Zr, Cr, Co, Ti и др.), а также наночастицами тугоплавких ве-

ществ [1–4]. Легирование медью упрочняет алюминий за счет образования твердого раствора, зон Гинье–Престона, выделений фазы Al_2Cu , однако существенно снижает его коррозионную стойкость [1]. Обработка поверхности спеченных алюминиево-медных композитов методом микродугового оксидирования (МДО) позволяет значительно повышать их коррозионную стойкость. При этом на модифицируемой поверхности формируются керамикоподобные покрытия, способствующие также повышению износостойкости и термостойкости обработанных материалов [5–9]. МДО-покрытия, как правило, состоят из внутреннего рабочего слоя, отвечающего за их коррозионно-защитную способность, и наружного технологического слоя.

Толщина и структура МДО-покрытий, сформированных на спеченных алюминиево-медных композитах, отличается от покрытий, получае-

мых на компактных алюминиевых сплавах. Это вызвано наличием оксидных пленок и пор по границам зерен, а также упрочняющих фаз различной природы [8–10]. Например, в [9] показано, что при оксидировании в течение 60 минут спеченного алюминиево-медного композита в покрытии остаются металлические включения, полностью исчезающие при увеличении длительности процесса до 180 мин, а рост концентрации меди приводит к замедлению подъема анодного напряжения на начальном этапе формирования МДО-покрытия. В работах [11, 12] отмечено отрицательное влияние упрочняющих интерметаллидных фаз в алюминиево-медных композитах на защитные свойства покрытий, формируемых на них, из-за уменьшения толщины и увеличения пористости МДО-покрытий. Однако и для порошковых композитов обработка их поверхности методом МДО способствует торможению коррозионных процессов. Спеченные алюминиево-медные композиты с МДО-покрытиями найдут применение для повышения эффективности и ресурса работы узлов различных агрегатов в машиностроении (крыльчатки двигателей, зубчатые колеса, втулки, распорки и т.п.), в том числе в сложных коррозионных условиях.

Для понимания пределов возможного применения системы “алюминиево-медный композит–МДО-покрытие” требуется изучение ее физико-химических свойств.

Целью настоящего исследования было проведение сравнительного анализа электрохимического поведения компактного алюминия, спеченных порошковых образцов из алюминия и его композиций с медью (1, 2 и 3%) без покрытий и со сформированными на их поверхности МДО-покрытиями.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Образцы из спеченных порошковых материалов без добавок (Al) и композитов, легированных медью (Al + 1%, 2%, 3% Cu), получали с помощью методов порошковой металлургии (холодное прессование и спекание в вакууме). В качестве матрицы использовали порошок алюминия со средним размером частиц ~4 мкм (АСД-4, ТУ 48-5-226 87). Для легирования был использован порошок меди со средним размером частиц ~2 мкм (ПМС-В, ГОСТ 4960-75). Порошок алюминия просеивали через сито с размером ячейки 14 мкм, а затем смешивали в гексане с порошком меди в шаровой мельнице с соотношением по массе шаров к порошкам 1 : 4. Затем смесь помещали в ультразвуковую ванну (20 кГц) и гомогенизировали с помощью вращающейся мешалки (400 об./мин). Сушку проводили на воздухе при 60°C в течение 24 ч. Полученную смесь прессовали в цилиндрических формах диаметром 14 мм и высотой 17 мм

на гидравлическом прессе под давлением 400 МПа. Спекание полученных порошковых образцов проводили в низковакуумной печи при температуре 650°C в течение 180 мин.

Микродуговое оксидирование образцов из компактного алюминия и спеченных порошковых материалов проводили в электролитах, содержащих 2 г/л гидроксида калия и 9 г/л жидкого стекла натриевого, в анодно-катодном режиме. Суммарные плотности тока МДО-обработки, обеспечивающие стабильное протекание процесса, составляли 10 А/дм² при равенстве анодного и катодного токов. Продолжительность процесса МДО составляла 60 минут.

Морфологию поверхности спеченных материалов до и после МДО-обработки и структуру поперечных шлифов образцов алюминиево-медных композитов с покрытиями исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), использовали растровый электронный микроскоп Quanta 600. Фазовый состав определяли с помощью рентгеновского дифрактометра Empyrean PANalytical (CuK_α-излучение). Электрохимические поляризационные исследования образцов проводили в стандартной трехэлектродной ячейке при помощи потенциостата IPC PRO L. Поляризацию проводили из катодной области в анодную в 3%-ном растворе NaCl со скоростью разворота потенциала 1 мВ/с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний вид образцов из спеченного алюминия с МДО-покрытиями отличается от образцов композитов с медью, что обусловлено наличием оксида меди в покрытии. Так, МДО-покрытие на алюминии имеет белый цвет, его верхний слой содержит преимущественно аморфный оксид кремния, который инкорпорируется в покрытие из электролита, содержащего жидкое стекло [13, 14]. Введение меди в алюминиевую основу композитов в количестве 1, 2 и 3% влияет на состав и структуру формируемых покрытий и изменяет сам характер процесса МДО. Происходит замедление роста напряжения формовки и, вероятно, изменение температурно-временных характеристик микродуговых разрядов. Визуально покрытия меняют цвет с белого (для алюминия) на коричневый с бордовым оттенком (для композитов с медью). Легирование медью приводит к образованию в МДО-покрытии включений оксида меди и соединений типа шпинелей.

Аналогичные процессы были отмечены для титановых образцов при их микродуговом оксидировании в силикатно-щелочных электролитах с добавками сульфата никеля [13, 14]. При малых концентрациях NiSO₄ процесс МДО протекал по механизму с преимущественным образованием

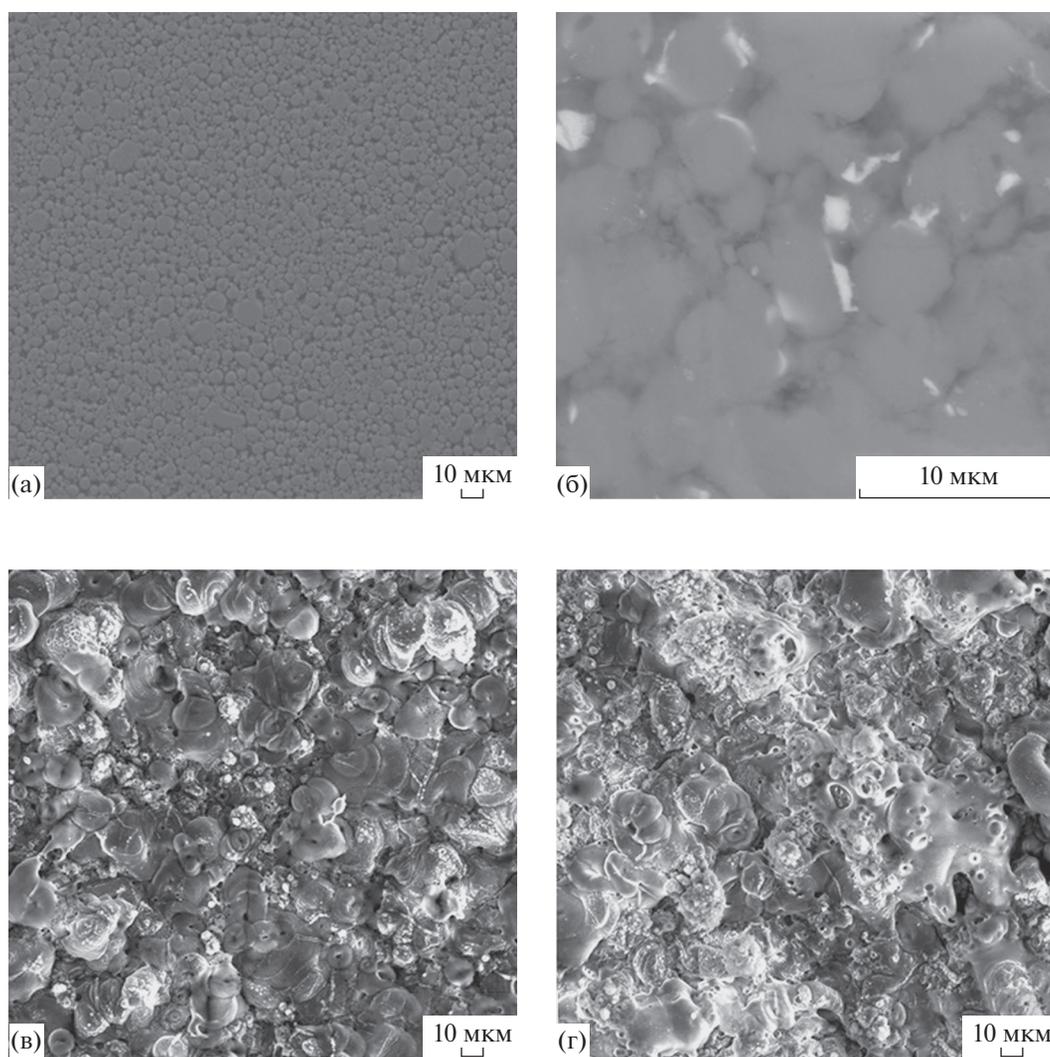


Рис. 1. РЭМ-изображения морфологии поверхности образцов из спеченных порошковых материалов: а – Al, б – Al + 3% Cu и МДО-покрытий на спеченных композитах: в – Al + 1% Cu, г – Al + 3% Cu.

диоксида кремния, поступающего из электролита, и покрытие имело характерный белый цвет. При увеличении его концентрации МДО-покрытие состояло преимущественно из диоксида титана, присутствовали также оксиды никеля. При этом цвет покрытия менялся с белого на черный или серо-зеленый (в зависимости от валентности никеля в его оксиде).

В нашем случае для образцов композитов, содержащих медь, по границам зерен алюминия со средним размером ~ 5 мкм (рис. 1а) были отмечены вытянутые медьсодержащие включения (рис. 1б). Структура МДО-покрытий для образцов из порошкового материала без добавок (Al) и композита, легированного медью (Al + 1% Cu), была практически идентичной. Она характеризуется кратерообразными островками, часть которых содержит поры в их центре, оставшиеся после завершения функционирования микроразрядов и застывания

расплавленного материала покрытия (рис. 1в). При увеличении содержания меди в композитах до 2–3% кратерная структура становится менее выраженной, плотность кратеров на поверхности покрытия уменьшается, возрастает открытая пористость, большую площадь занимают участки с мелкой глобулярной структурой (рис. 1г). Как было показано в работе [8], эти области преимущественно содержат соединения компонентов электролита. Исследования структуры поперечных шлифов МДО-покрытий с помощью РЭМ показали, что их толщина составляет около 35 мкм.

Результаты поляризационных исследований представлены на рис. 2, 3 и в табл. 1. Видно, что добавки меди в алюминий повышают коррозионную активность спеченных порошковых материалов из-за увеличения электрохимической гетерогенности. Так, плотности токов при анодной поляризации (-500 мВ) возрастают примерно в

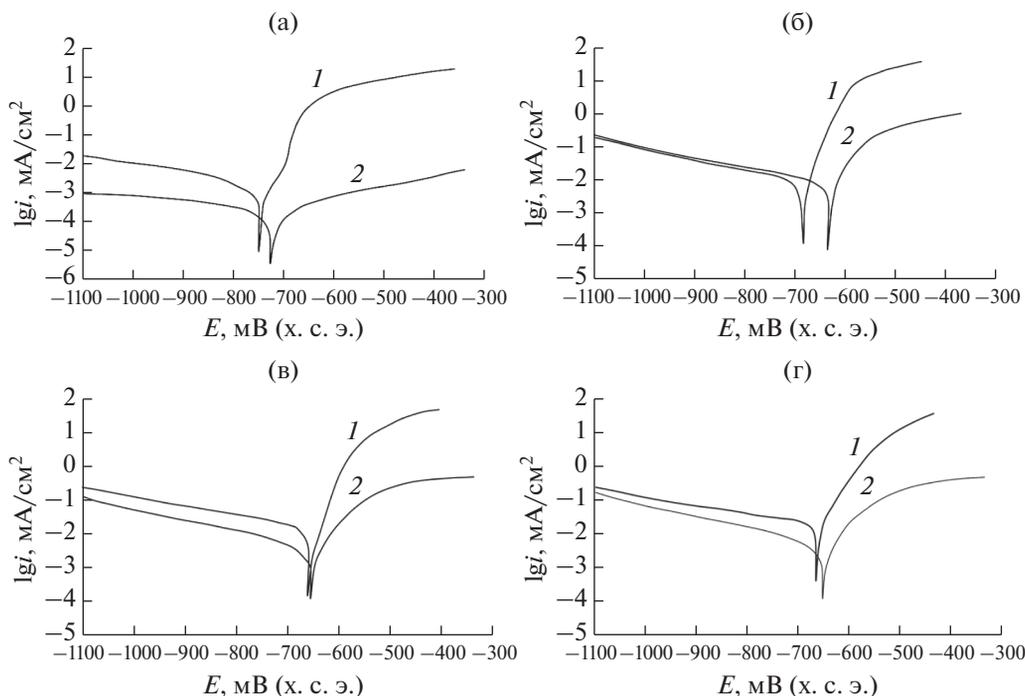


Рис. 2. Поляризационные зависимости логарифма плотности тока $\lg i$ от потенциала E (относительно х. с. э.), полученные в 3%-ном растворе NaCl при скорости развертки потенциала 1 мВ/с, для образцов из спеченных порошковых материалов: а – Al, б – Al + 1% Cu, в – Al + 2% Cu, г – Al + 3% Cu без покрытия (1) и с МДО-покрытиями (2).

3 раза, а при катодной (-900 мВ) – в 5–10 раз в зависимости от содержания меди в композите (табл. 1). МДО-покрытия во всех случаях “облагораживают” потенциал коррозии, что косвенно свидетельствует об их защитном действии. Значения токов на всех катодных (левая часть) и анодных (правая часть) поляризационных кривых, полученных для образцов с покрытиями, меньше,

чем токи для образцов из спеченных порошковых материалов (рис. 2), что напрямую свидетельствует о положительном влиянии МДО-покрытий на коррозионную стойкость. Например, для спеченного порошкового материала (Al) величина плотности тока на катодных поляризационных кривых на порядок, а на анодных – на три порядка меньше для образцов с МДО-покрытиями (рис. 2а, табл. 1). Это свидетельствует об очень сильном торможении покрытиями анодного процесса растворения металла основы.

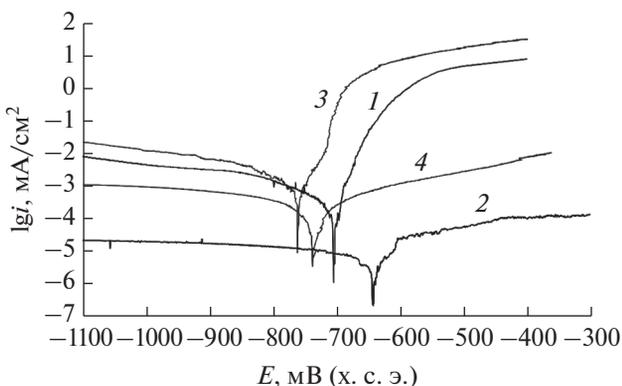


Рис. 3. Поляризационные зависимости логарифма плотности тока $\lg i$ от потенциала E (относительно х. с. э.), полученные в 3%-ном растворе NaCl при скорости развертки потенциала 1 мВ/с, для образцов из компактного (1) и порошкового алюминия без покрытия (3); компактного (2) и порошкового алюминия с МДО-покрытиями (4).

Добавки меди в порошковый алюминий приводят к снижению коррозионно-защитного действия МДО-покрытий, по-видимому, из-за увеличения их пористости, прежде всего, сквозной. Так, плотности тока на анодных поляризационных кривых для всех алюминиево-медных композитов уменьшаются по сравнению с непокрытыми образцами только на два порядка (рис. 2б–2г, табл. 1). Плотности тока на катодных поляризационных кривых для композитов (Al + 2% Cu) и (Al + 3% Cu) уменьшаются на полпорядка (рис. 2в, 2г, табл. 1), а для композита (Al + 1% Cu) МДО-покрытие на катодные токи практически не влияет (рис. 2б, табл. 1).

Таким образом, наименьшие анодные и катодные токи на поляризационных зависимостях были получены для спеченного порошкового материала (Al) с МДО-покрытием (рис. 2а, кривая 2), что связано, по-видимому, с отсутствием в них

Таблица 1. Результаты поляризационных измерений (к – компактный алюминий, п – порошковый алюминий)

Образец	$E_{\text{корр}}$, мВ (х. с. э.)	i , мА/см ² (при –500 мВ)	$\lg i$, мА/см ² (при –500 мВ)	i , мА/см ² (при –900 мВ)	$\lg i$, мА/см ² (при –900 мВ)
Al (к)	–704	5.1286	0.71	0.0033	–2.48
Al (к) + МДО	–640	5.86×10^{-5}	–4.232	1.81×10^{-5}	–4.742
Al (п)	–754	18.6209	1.27	0.0072	–2.14
Al (п) + МДО	–737	0.0030	–2.53	0.0007	–3.14
Al + 1% Cu (п)	–834	54.9541	1.74	0.0363	–1.44
Al + 1% Cu (п) + МДО	–647	0.8892	–0.051	0.0398	–1.4
Al + 2% Cu (п)	–673	53.7032	1.73	0.0891	–1.05
Al + 2% Cu (п) + МДО	–668	0.5495	–0.26	0.0339	–1.47
Al + 3% Cu (п)	–680	43.6516	1.64	0.0891	–1.05
Al + 3% Cu (п) + МДО	–666	0.4677	–0.33	0.0427	–1.37

$E_{\text{корр}}$ – потенциал коррозии; х. с. э. – хлорсеребряный электрод сравнения; i – плотность тока.

соединений меди, вносящих электрохимическую гетерогенность в основу и структурную неоднородность в покрытие.

На рис. 3 для сравнения представлены поляризационные зависимости для образцов из компактного алюминия и спеченного порошкового материала (Al) без покрытия и с МДО-покрытиями. Видно, что для непокрытых образцов компактного алюминия плотности анодного тока примерно в четыре раза, а катодного – в два раза меньше (рис. 3, табл. 1). Это может быть связано с меньшей дефектностью (развитостью морфологии, пористостью, наличием включений, трещиноватостью и т.п.) поверхности компактного алюминия по сравнению с порошковым материалом (Al). Значения плотностей анодного и катодного токов для образцов компактного алюминия с МДО-покрытием почти на два порядка меньше по сравнению с образцами, покрытыми спеченным порошковым Al (рис. 3, табл. 1).

На рис. 4а, 4б представлены РЭМ-изображения (в обратно отраженных электронах) морфологии поверхности спеченных композитов (Al + 1% Cu) и (Al + 3% Cu) без покрытий после электрохимической поляризации в 3%-ом растворе NaCl. Видно, что на поверхности образцов присутствуют области, покрытые пленкой, по всей видимости, оксидно-хлоридных комплексов (рис. 4а, области 2). Они образуются в результате хемосорбции хлорид-анионов на поверхности композитов. Также наблюдаются фрагменты структуры спеченных композитов (рис. 4а, 4б, области 1). Исследование морфологии поверхности алюминиево-медных композитов с МДО-покрытиями после поляризации, в общем, показало отсутствие в них каких-либо дефектов (рис. 4в, 4г). Тем не менее, на поверхности покрытий присутствуют островки размером до 100 мкм, по всей видимости, тех же оксидно-хлоридных комплексов (рис. 4в, 4г).

На поперечных шлифах композитов с МДО-покрытиями большой толщины были отмечены фрагменты оксидно-хлоридной пленки (рис. 4д), образование которой может происходить в результате хемосорбции хлорид-анионов после электрохимической поляризации в 3%-ном растворе NaCl. В локальных областях МДО-покрытий, характеризующихся меньшей толщиной (до 30 мкм), было отмечено их расслоение на внутренний (рис. 4д, 4е, слой 3) и наружный (рис. 4д, 4е, слой 4) слои с промежуточной оксидно-хлоридной пленкой в результате проникновения хлорид-анионов через поры наружного слоя покрытия (рис. 4е). Вклинивание этой пленки в МДО-покрытие может приводить к его растрескиванию [15].

На рис. 5 представлены рентгеновские дифрактограммы спеченных алюминиево-медных композитов после электрохимической поляризации в 3%-ном растворе NaCl. На рентгенограмме порошкового композита (Al + 3% Cu) без покрытия присутствуют рефлексы Al и интерметаллидной фазы Al₂Cu (рис. 5а). Рефлексы от фаз оксидно-хлоридной пленки отсутствуют, что может свидетельствовать о ее аморфном состоянии. На рентгенограммах порошкового композита (Al + 1% Cu) с МДО-покрытием (рис. 5б) были отмечены пики Al и Al₂Cu, а также рефлексы γ -Al₂O₃ и алюмосиликата муллита. Для композита (Al + 3% Cu) с МДО-покрытием (рис. 5б) были выявлены также пики оксида меди CuO (рис. 5б). Эта дифрактограмма характеризуется высоким содержанием аморфной составляющей, о чем свидетельствует гало с максимумом при $2\theta = 27^\circ$, относящееся (скорее всего) к оксидно-хлоридным соединениям, попавшим в покрытие после электрохимической поляризации. В работе [9] в МДО-покрытиях на алюминиево-медных композитах, содержащих более 1% Cu, ранее также отмечались фазы

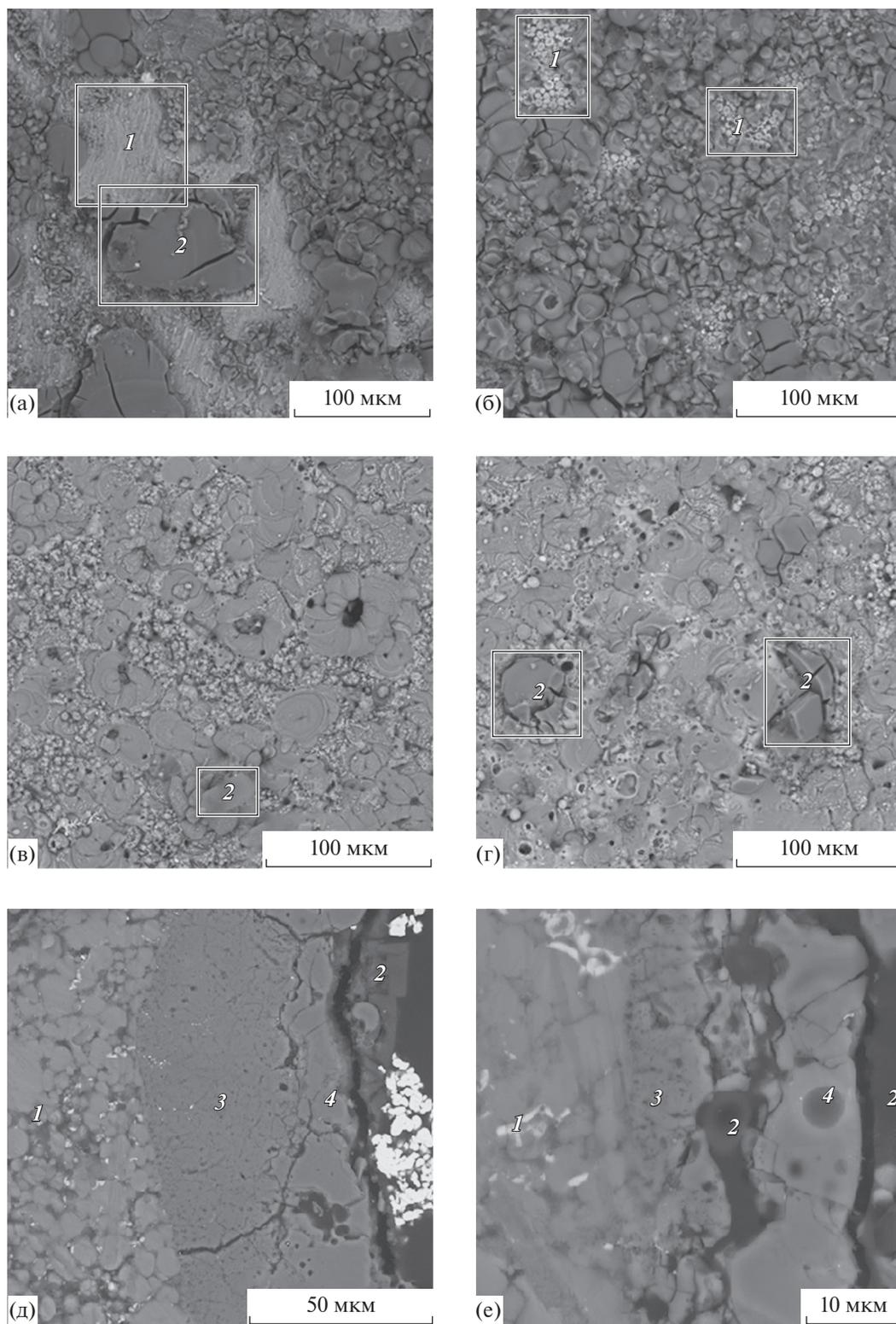


Рис. 4. РЭМ-изображения (в обратно отраженных электронах) после поляризации в 3%-ном растворе NaCl морфологии поверхности образцов из спеченных порошковых композитов без покрытий: а – Al + 1% Cu, б – Al + 3% Cu и с МДО-покрытиями: в – Al + 1% Cu, г – Al + 3% Cu и структуры поперечных шлифов композитов с МДО-покрытиями: д – Al + 1% Cu, е – Al + 3% Cu. 1 – структура спеченных композитов, 2 – области оксидно-хлоридной пленки, 3 – внутренний слой МДО-покрытия, 4 – наружный слой МДО-покрытия.

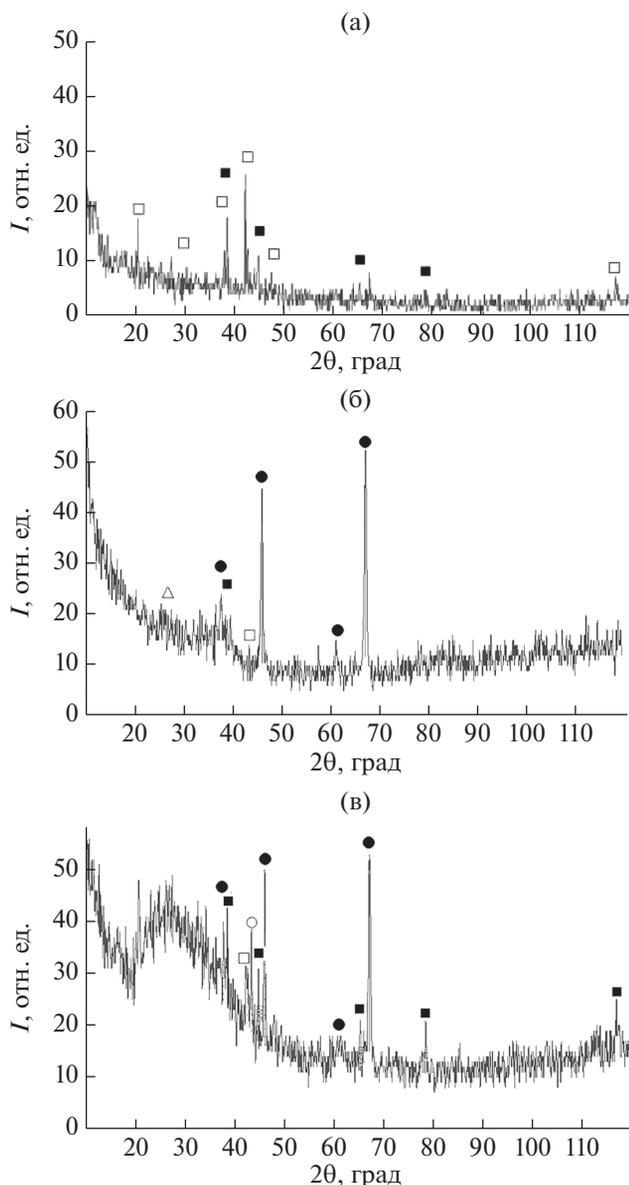


Рис. 5. Рентгеновские дифрактограммы спеченных композитов после электрохимической поляризации в 3%-ном растворе NaCl: а – Al + 3% Cu без покрытия, б – Al + 1% Cu с МДО-покрытием, в – Al + 3% Cu с МДО-покрытием. ■ – Al, □ – Al₂Cu, ● – γ -Al₂O₃, ○ – CuO, △ – муллит.

γ -Al₂O₃, муллит и CuO [9], таким образом они не являются продуктами коррозии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плотности анодного и катодного токов на поляризационных зависимостях для образцов компактного алюминия примерно в 4 и 2 раза меньше по сравнению со спеченным порошковым алюминием. Порошковый алюминий, в свою очередь, менее коррозионно-активен, чем алюминии-

ево-медные композиты. Плотности токов при анодной поляризации возрастают примерно в три раза, а при катодной – в 5–10 раз в зависимости от содержания меди в композите. Формирование МДО-покрытий на спеченных порошковых материалах во всех случаях “облагораживает” потенциал коррозии и приводит к снижению анодных и катодных токов на поляризационных кривых, что свидетельствует о положительном влиянии МДО-обработки на коррозионную стойкость указанных материалов. Наименьшие поляризационные токи были получены для спеченного порошкового алюминия с МДО-покрытием, что связано, по-видимому, с отсутствием в них соединений меди, вносящих электрохимическую гетерогенность в основу и структурную неоднородность в покрытие. Исследование морфологии поверхности алюминиево-медных композитов с МДО-покрытиями после электрохимической поляризации в 3%-ном растворе NaCl показало отсутствие в них каких-либо дефектов (в целом). Тем не менее, на поверхности покрытий присутствовали островки оксидно-хлоридных комплексов. Рентгенофазовый анализ МДО-покрытий на алюминиево-медных композитах позволил выявить наличие в покрытиях Al, интерметаллида CuAl₂, оксидов γ -Al₂O₃ и CuO, а также алюмосиликата муллита.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (грант № МК 54.2019.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов Н.А. Фазовый состав промышленных и перспективных алюминиевых сплавов. М.: ИД “МИСиС”, 2010. 511 с.
2. Костиков В.И., Еремеева Ж.В., Миронов В.В., Агурев Л.Е. // Доклады Академии наук. 2018. Т. 481. № 5. С. 510.
<https://doi.org/10.31857/S086956520002130-6>
3. Kang Y.C., Chan S.L.-I. // Materials Chemistry and Physics. 2004. V. 85. P. 438.
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2004.02.002>
4. Agureev L.E., Kostikov V.I., Eremeeva Zh.V., Barmin A.A., Rizakhanov R.N., Ivanov B.S., Ashmarin A.A., Laptev I.N., Rudshstein R.I. // Inorganic Materials: Applied Research. 2016. V. 7. № 6. P. 507.
<https://doi.org/10.1134/S2075113316050026>
5. Эпельфельд А.В., Белкин П.Н., Борисов А.М., Васин В.А., Крит Б.Л., Людин В.Б., Сомов О.В., Сорокин В.А., Суминов И.В., Францкевич В.П. Современные технологии модификации поверхности материалов и нанесения защитных покрытий. Т. I. Микродуговое оксидирование. Санкт-Петербург: Реноме, 2017. 648 с.

6. Nie X., Meletis E.I., Jiang J.C., Leyland A., Yerokhin A.L., Matthews A. // *Surface and Coatings Technology*. 2002. V. 149. P. 245.
[https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(01\)01453-0](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01453-0)
7. Лесневский Л.Н., Ляховецкий М.А., Савушкина С.В. // *Трение и износ*. 2016. Т. 37. № 3. С. 345.
8. Савушкина С.В., Агуреев Л.Е., Ашмарин А.А., Иванов Б.С., Эпельфельд А.В., Виноградов А.В. // *Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед.* 2017. № 12. С. 34.
<https://doi.org/10.7868/S0207352817120058>
9. Agureev L., Savushkina S., Ashmarin A., Borisov A., Apelfeld A., Anikin K., Tkachenko N., Gerasimov M., Shcherbakov A., Ignatenko V., Bogdashkina N. // *Metals*. 2018. V. 459. № 8. P. 1.
<https://doi.org/10.3390/met8060459>
10. Matykina E, Arrabal R., Mohamed A., Skeldon P., Thompson G.E. // *Corrosion Science*. 2009. V. 51. P. 2897.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.004>
11. Mingo B., Arrabal, R. Mohedano M., Pardo A., Matykina E. // *Surface and Coatings Technology*. 2017. V. 309. P. 1023.
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.10.041>
12. Xia L.-Q., Han J.-M., Cui S.-H., Yang Z.-Y., Li W.-J. // *Journal of Materials Engineering*. 2016. V. 44. P. 40.
<https://doi.org/10.11868/j.issn.1001-4381.2016.01.006>
13. Bordashkina N.L., Gerasimov M.V., Zalavutdinov R.Kh., Kasatkina I.V., Krit B.L., Lyudin V.B., Fedichkin I.D., Scherbakov A.I., Apelfeld A.V. // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2018. V. 54. № 4. P. 331.
<https://doi.org/10.3103/S106837551804004X>
14. Gerasimov M.V., Bogdashkina N.L., Zalavutdinov R.H., Shcherbakov A.I., Apelfeld A.V., Kondratsky I.O. // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2019. V. 55. № 7. P. 1.
<https://doi.org/10.1134/S2070205119070049>
15. Branzoi V., Golgovici F., Branzoi F. // *Materials Chemistry and Physics*. 2002. V. 78. P. 122.
[https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00222-5](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00222-5)

Electrochemical Studies of Sintered Aluminum Materials and MAO-Coatings Formed on Their Surface

S. V. Savushkina^{1, 2, *}, A. V. Apelfeld², L. E. Agureev^{1, **}, M. V. Gerasimov³,
N. L. Bogdashkina³, V. E. Ignatenko³

¹*Keldysh Research Center, Moscow, 125438 Russia*

²*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 121552 Russia*

³*Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of RAS, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: sveta_049@mail.ru*

***e-mail: nanocentre@kerc.msk.ru*

Electrochemical behavior of sintered aluminum materials obtained by powder metallurgy, its compositions with copper (1, 2, and 3%) and microarc oxidation coatings on their surface were studied in 3% NaCl. Anodic and cathodic currents densities on the polarization dependences for compact aluminum samples are approximately 4 and 2 times lower than for sintered powder aluminum. Sintered powder aluminum is less corrosive than aluminum-copper composites. MAO coatings lead to a decrease of anodic and cathodic currents, which indicates their positive effect on the corrosion resistance of these materials. The structure of MAO coated aluminum-copper composites was studied after electrochemical studies by scanning electron microscopy and X-ray phase analysis.

Keywords: powder metallurgy, aluminum-copper composites, microarc oxidation, MAO coatings, surface morphology, structure, phase composition, corrosion-protective properties, scanning electron microscopy, X-ray phase analysis, electrochemical polarization studies.