

УДК 669.717: 669.056.91

**А.И. КОМАРОВ**, канд. техн. наукзаведующий лабораторией технологий модифицирования конструкционных материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»<sup>1</sup>

E-mail: al\_kom@tut.by

**Д.В. ОРДА**научный сотрудник лаборатории технологий модифицирования конструкционных материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»<sup>1</sup>

E-mail: dmitry\_orda@mail.ru

**А.С. ЧЕРНЯВСКАЯ**научный сотрудник лаборатории технологий модифицирования конструкционных материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»<sup>1</sup>

E-mail: romanuk.alexandra1@gmail.com

**А.В. СОСНОВСКИЙ**, канд. техн. наук, доц.ведущий научный сотрудник лаборатории технологий модифицирования конструкционных материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»<sup>1</sup>

E-mail: sosnovskij@inbox.ru

**Д.А. ШИПАЛОВ**младший научный сотрудник лаборатории технологий модифицирования конструкционных материалов НТЦ «Технологии машиностроения и технологическое оборудование»<sup>1</sup>

E-mail: dmitry60@gmail.com

<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 28.02.2024.

## СТРУКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ АДСОРБЕНТА ПОРИСТОГО ОКСИДИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ

*В работе представлены результаты микродугового оксидирования пористого алюминия из сплавов АК15, Д16 и АМг6. Согласно исследованиям, на поверхности образца происходит образование композиционного оксидокерамического покрытия, состоящего из муллита  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  и (или) различных форм оксида алюминия ( $\alpha$ -,  $\gamma$ - $Al_2O_3$ ). Показано, что на поверхности пористого алюминия, как и в порах литого образца, образуется покрытие, состоящее из электроположительных и электроотрицательных сорбционных материалов — оксидов алюминия и алюмосиликатов. Причем, изменяя состав алюминиевого сплава и режимы микродугового оксидирования, можно управлять фазовым составом формируемого покрытия, что открывает возможность создания фильтрующих устройств избирательного действия для удержания либо анионных, либо катионных неорганических соединений и микробиологических объектов.*

**Ключевые слова:** пористый алюминий, керамическое покрытие, оксид алюминия, микродуговое оксидирование, структура, фазовый состав

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-88-95>

**Введение.** Оксид алюминия является одним из наиболее известных сорбционных материалов. Такие свойства, как механическая прочность, химическая и гидролитическая стабильность, легкость регенерации, доступность, обусловили широчайшее его использование в качестве сорбента, катализаторов и носителей различных процессов основного органического синтеза, нефтепереработки и нефтехимии. [1].

Следует отметить, что оксид алюминия в качестве адсорбента чаще всего применяется либо в виде наночастиц, закрепленных на природных или синтетических носителях [2, 3], либо в виде порошков и гранул. Как в первом, так и во втором случае это сопряжено с рядом трудностей, обусловленных сложной технологией получения, регенерации или очитки адсорбента для его повторного использования.

Одним из путей решения проблемы видится создание алюмооксидных покрытий на алюминиевой подложке. Особый интерес представляет микродуговое оксидирование (МДО), позволяющее путем глубокого электрохимического окисления алюминиевой основы формировать оксидный слой толщиной до 200 мкм [4]. Полученное таким образом алюмооксидное покрытие представляет собой наноструктурированный композит, состоящий из различных модификаций оксида алюминия (в основном  $\alpha$ - и  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), которые различаются структурой и сорбционными свойствами.

В общем случае оксид алюминия представляет собой электроположительный сорбент, что обусловлено избыточной концентрацией льюисовских кислотных центров (ЛКЦ), которые являются координационно-ненасыщенными поверхностными атомами алюминия с локализованным положительным зарядом [5]. Согласно ряду исследований, плотность ЛКЦ, а следовательно, и электроположительные свойства поверхности оксида алюминия зависят от ряда факторов, в том числе от типа кристаллической решетки [5, 6]. Так, согласно [5], для отожженного  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  концентрация ЛКЦ находится в пределах 2,25–2,96 мкмоль/м<sup>2</sup>, тогда как для  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  эта величина составляла 4,29 мкмоль/м<sup>2</sup>, т. е. варьирование соотношения  $\alpha$ - и  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  открывает возможность управления сорбционными свойствами МДО-покрытия. Кроме того, процесс МДО позволяет не только управлять фазовым составом оксидного покрытия, но и осуществлять его модифицирование оксидами других металлов, наночастицами нитридов, карбидов и углерода, что расширяет возможности сорбционного материала [7–9]. Отмеченные свойства позволяют рассматривать МДО-покрытие на алюминии в качестве перспективного материала для создания адсорбентов и фильтрующих устройств избирательного действия. Такие устройства могут быть высокоэффективны для разделения многокомпонентных сред, очистки моторных и промышленных масел от продуктов деградации [10], воды от трех- и шестивалентного хрома, никеля, мышьяка, остаточного железа, а также микробиологических загрязнений [11–14].

Несмотря на то, что МДО-покрытие имеет пористость, доступная поверхность все же недостаточна для создания эффективного сорбента. Значительно повысить удельную поверхность покрытия возможно за счет использования в качестве подложки пористого алюминия.

Пористые металлы имеют сложную структуру, которая определяет уровень свойств материала. При этом характер пор, их форма, размер,

правильность геометрии, имеют первоочередное влияние на механические свойства. Металлический пористый материал может быть с открытой или закрытой пористостью. Материалы с открытой пористостью образуют пространственную сетку, т. е. сеть соединенных друг с другом полостей. Материалы с закрытой пористостью в своей структуре имеют поры, которые представляют собой замкнутую ячейку, в которой заперт газ [15].

Пористость алюминия с открытыми порами может достигать 70 %. Такой материал имеет высокую развитую внутреннюю поверхность, составляющую при плотности 1,1 г/см<sup>3</sup> от 1 до 2 м<sup>2</sup>/г. Благодаря особой внутренней структуре пористый алюминий обладает высокой энергоемкостью к ударным и статическим нагрузкам.

Качественное изменение свойств пеноалюминия может быть достигнуто формированием оксидокерамического покрытия на поверхности материала. В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси авторами данной статьи разработаны оборудование и технология микродугового оксидирования изделий из алюминиевых сплавов [16, 17]. Широкий спектр проведенных исследований позволяет формировать покрытия различного функционального назначения.

*Цель данной работы* — оценка возможности формирования оксидокерамического покрытия на образцах пористого алюминия методом микродугового оксидирования, изучение структуры полученного композита с перспективой его использования в качестве сорбента.

**Материалы и методики исследований.** Покрытия формировали на образцах пористого алюминия производства ООО «Композиционные материалы» (г. Екатеринбург, Россия), также на образцах из сплавов Д16 и АМг6, полученных в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси методом электродуговой металлизации. Нанесение алюминиевых покрытий на образцы осуществляли на оборудовании гиперзвуковой металлизации АДМ-10 при следующих технологических режимах: давление воздуха — 0,2 МПа; напряжение дуги — 30–32 В; дистанция напыления — 200 мм; ток дуги — 200 А. В качестве присадочного материала использовали проволоки Д-16П и АМГ-6 диаметром 2,0 мм. Подложкой служила пластина из сплава Д16. Толщина покрытия составляла 0,5–1 мм.

Согласно анализу химического состава, пористый алюминий российского производства соответствует сплаву АК15 (таблица).

Таблица — Химический состав пористого алюминия  
Table — Chemical composition of porous aluminum

Элемент	Al	Si	Ti	Fe	Cu	Zn	P	S	Cr	Mn
Доля, масс. %	84,04	14,60	0,32	0,45	0,15	0,21	0,08	0,06	0,025	0,05

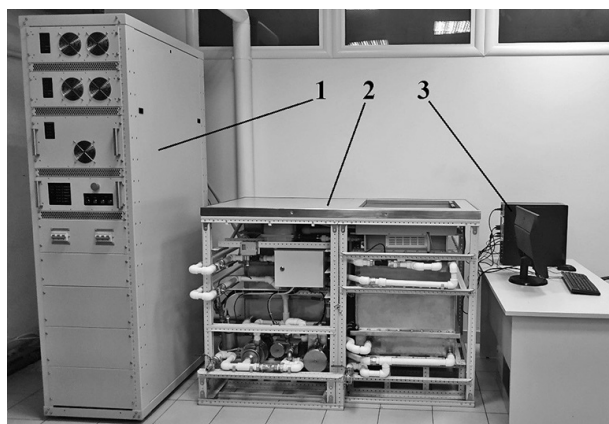


Рисунок 1 — Модернизированное оборудование МДО:

1 — модуль питания и управления; 2 — технологический модуль;

3 — управляющий компьютер

Figure 1 — Modernized microarc oxidation equipment: 1 — power and control module; 2 — technological module; 3 — control computer

Покрытие формировалось на образцах прямоугольной формы  $10 \times 20$  мм и толщиной 1,2 мм.

Микродуговое оксидирование выполнялось на установке, разработанной в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси (рисунок 1), которая включает в себя три основных блока: модуль питания и управления (с тиристорным регулированием, обеспечивающим анодно-катодную поляризацию образцов с частотой 50 Гц при напряжении 200–240 В и силе тока 55 А), технологический модуль и управляющий компьютер. Продолжительность процесса МДО для всех образцов составляла 80 мин. В качестве электролита для образцов пористого алюминия использовался водный раствор гидроксида калия (КОН) и жидкого натриевого стекла ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) с концентрацией компонентов 2 и 5 г/л соответственно. Температура электролита в процессе МДО поддерживалась в диапазоне 25–35 °С.

Фазовый состав покрытия исследовали на автоматизированном комплексе на базе рентгеновского дифрактометра ДРОН-3М с использованием  $\text{CuK}\alpha$ -излучения и применением вторичной монохроматизации рентгеновского пучка. Структурно-фазовое состояние полученных образцов исследовалось методом металлографического анализа на микроскопах ХМ300 и МИМ-8.

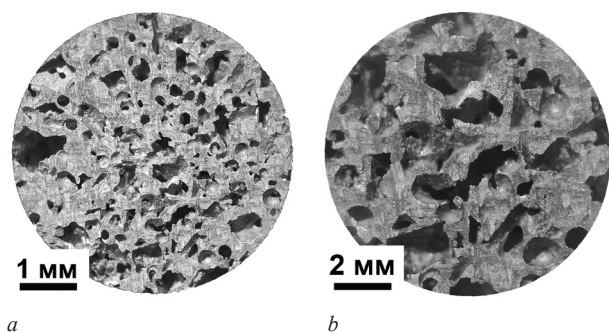


Рисунок 2 — Макроструктура образцов из пористого алюминия

Figure 2 — Macrostructure of porous aluminum samples

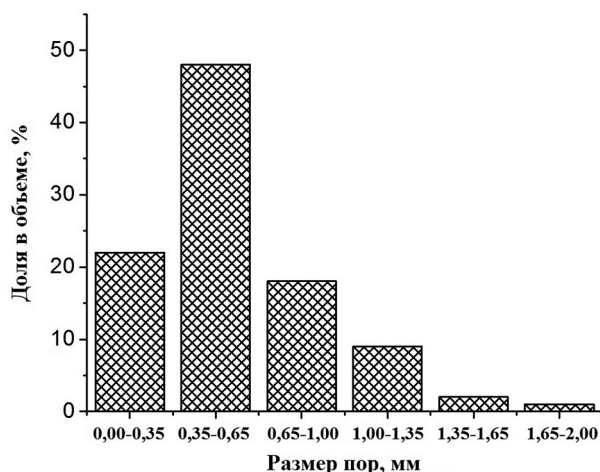


Рисунок 3 — Распределение пор по размеру

Figure 3 — Pore size distribution

**Результаты и их обсуждение.** Согласно данным [15], изготовление используемого пористого алюминия осуществлялось по технологии заливки расплава АК15 в нагретую форму, заполненную водорастворимыми солями, такими как хлорид кальция, бария, фторид калия. Это подтверждается металлографическим анализом макро- и микроструктуры пористого алюминия (рисунок 2). Согласно результатам металлографического анализа, объемная пористость находится в диапазоне 50–55 %, при этом основная доля пор (порядка 70 %) имеет размер до 650 мкм (рисунок 3).

После оксидирования размер пор уменьшается (рисунок 4), при этом пик распределения пор смещается в сторону меньших размеров.

Анализ микроструктуры образцов пористого алюминия (рисунок 5 а) показал, что сплав алюминия АК15 имеет эвтектическое строение с частицами кремния иглообразной формы. Структура имеет равномерное распределение без видимых градиентов. Оксидирование образцов пористого алюминия привело к уменьшению размера (см. рисунок 5 б) и сглаживанию угловатой геометрии пор. Толщина оксидокерамического покрытия имеет неравномерное распределение. Так, на поверхности образца она варьирует от 120

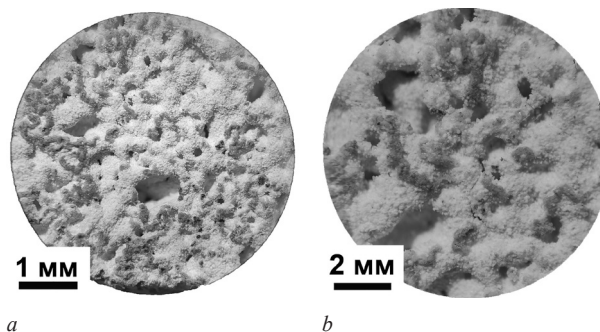


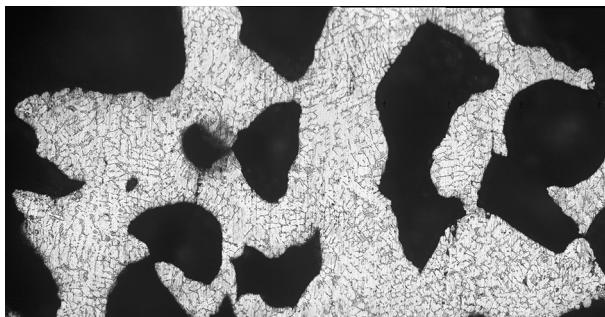
Рисунок 4 — Макроструктура образцов из пористого алюминия после микродугового оксидирования

Figure 4 — Macrostructure of porous aluminum samples after microarc oxidation

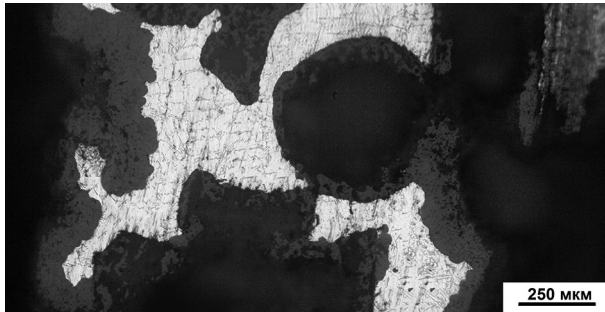
до 150 мкм, тогда как в глубине образца снижается до 60 мкм.

Следует отметить, что образец пористого алюминия толщиной 1,2 мм претерпел сквозное оксидирование, т. е. оксидное покрытие сформировалось во внутренних каналах образца (рисунок 6, показано стрелками).

Рентгенофазовый анализ показал, что образцы пористого алюминия в поверхностном слое содержат также оксиды алюминия различной модификации, что связано с его окислением в процессе изготовления, вероятно, при удалении водорастворимых солей-наполнителей (рисунок 7 а). После оксидирования состав поверхностного слоя преобразуется и состоит в основном из муллита ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) и оксидов алюминия модификаций  $\alpha-Al_2O_3$  и  $\gamma-Al_2O_3$  (см. рисунок 7 б).



а



б

Рисунок 5 — Структура образцов из пористого алюминия до (а) и после (б) микродугового оксидирования  
Figure 5 — Structure of porous aluminum samples before (a) and after (b) microarc oxidation

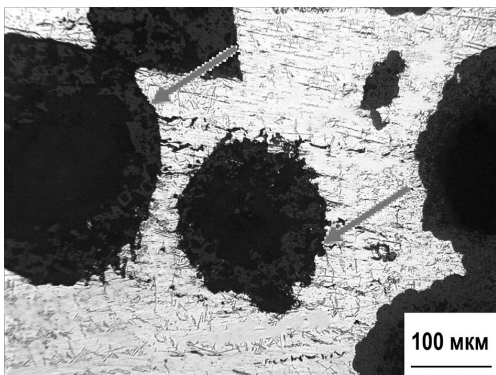
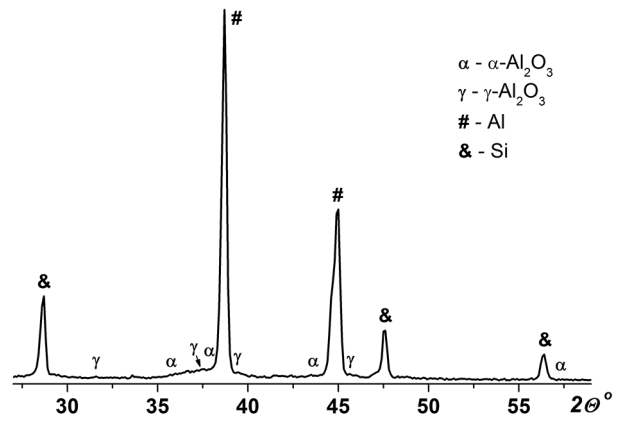
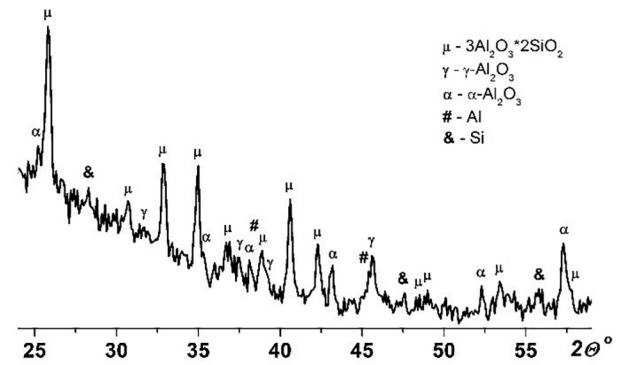


Рисунок 6 — Структура образцов из пористого алюминия после микродугового оксидирования  
Figure 6 — Structure of porous aluminum samples after microarc oxidation



а



б

Рисунок 7 — Фрагмент дифрактограммы образца пористого алюминия (а) и покрытия на нем (б) после микродугового оксидирования  
Figure 7 — Fragment of diffractogram of porous aluminum sample (a) and its coating (b) after microarc oxidation

Иной характер микроструктуры материала и покрытия выявлен при исследовании образцов, полученных гиперзвуковой металлизацией (рисунок 8 а, б). В этом случае присутствуют две выраженные системы пор: в виде вытянутой в продольном направлении тонкой сетки и полостей неравноосной формы. Такой тип пористости характерен для полученных методами динамической металлизации металлических покрытий, когда расплавленные частицы сильно деформируются при ударе о поверхность. Отмеченные особенности определяют и структуру покрытия, полученную микродуговым оксидированием (см. рисунок 8 с, д). В отличие от покрытия на пористом выплавленном алюминии, покрытие формируется главным образом на поверхности образца и не проникает глубоко в поры. Такую особенность можно объяснить малым сечением пор и их продольным расположением. Подобный характер пористости, помимо затрудненного доступа электролита в сетку пор, создает экранирование подповерхностных полостей, что препятствует формированию в них покрытия.

Для устранения отмеченного недостатка, с целью увеличения размера пор, образцы полученно-го гиперзвуковой металлизацией алюминия перед

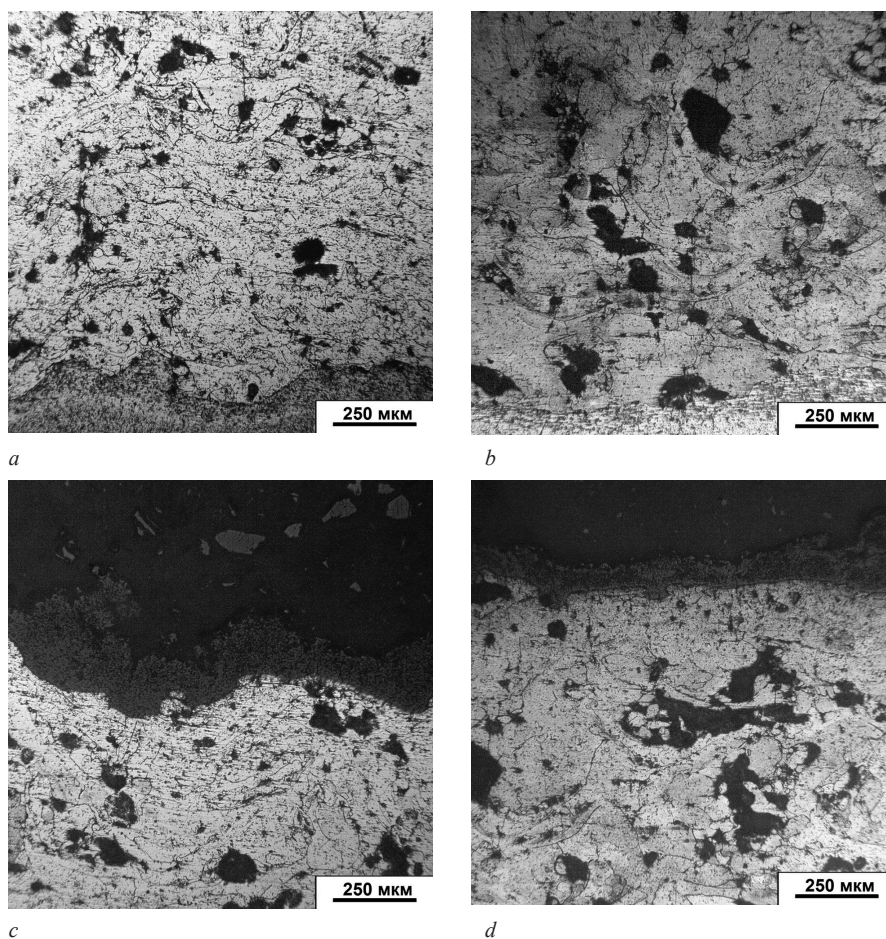


Рисунок 8 — Микроструктура пористых образцов из сплавов АМг6 (а) и Д16 (b) и сформированного на их поверхности керамического покрытия (с — АМг6; d — Д16)  
 Figure 8 — Microstructure of porous samples made of AlMg6 (a) and D16 (b) alloys and ceramic coating formed on their surface (c — AlMg6; d — D16)

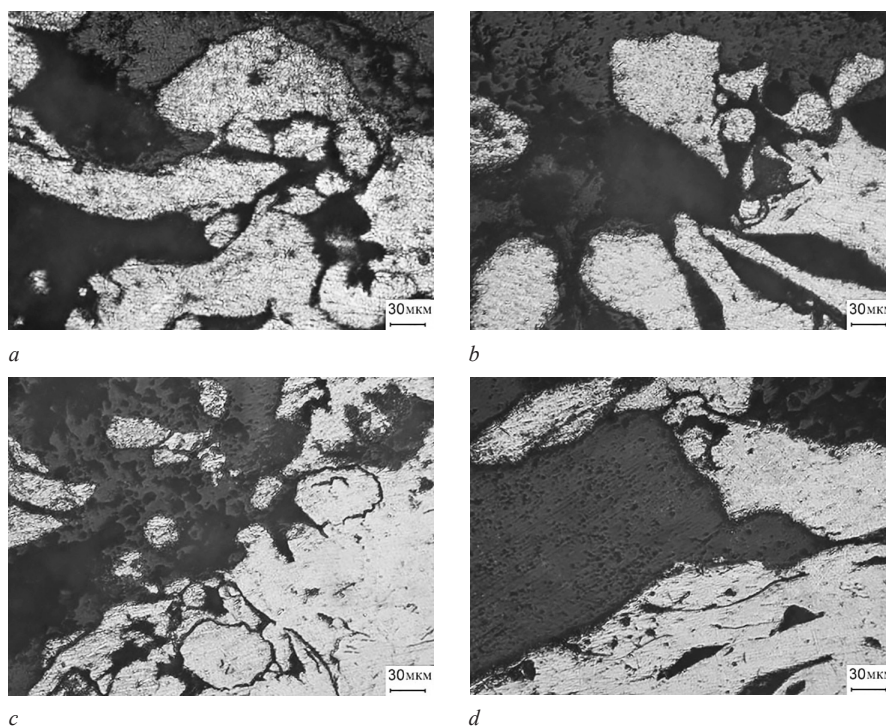


Рисунок 9 — Микроструктура пористых образцов из сплавов Д16 (а, b) и АМг6 (с, d), подвергнутых травлению в 3-процентном растворе HF и микродуговому оксидированию (МДО-покрытие указано стрелками)  
 Figure 9 — Microstructure of porous samples made of D16 (a, b) and AlMg6 (c, d) alloys subjected to etching in 3-percent HF solution and microarc oxidation (microarc oxidation coating is indicated by arrows)

оксидированием были подвергнуты травлению в 3-процентном растворе HF в дистиллированной воде. Полученные результаты показали, что такая обработка повысила доступность МДО к воздействию на подповерхностные поры, что привело к образованию покрытия на глубине, сопоставимой с выплавленными образцами (рисунок 9).

Рентгенофазовый анализ покрытий показал, что их состав формируется в соответствии с существующими тенденциями. Так, преобладающей фазой покрытия на образце из сплава Д16 является корунд  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , в то время как на образце АМг6 покрытие в основном состоит из модификации  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (рисунок 10). Также можно отметить, что в составе керамического слоя отсутствует муллит.

Таким образом, на поверхности пористого алюминия, в том числе и на поверхности пор литого образца, образуется покрытие, состоящее из известных электроположительных и электроотрицательных сорбционных материалов — оксидов алюминия и алюмосиликата. Причем, варьируя состав пористой алюминиевой подложки и режимы микродугового оксидирования, можно управлять фазовым составом формируемого покрытия. Последнее особенно важно, поскольку открывается возможность создания фильтрующих устройств избирательного действия для удержания либо анионных, либо катионных неорганических соединений и микробиологических объектов.

**Заключение.** Микродуговое оксидирование пористого алюминия позволяет получать пори-

стые композиты с металлической основой и керамическим алюмооксидным покрытием на поверхности пор. Показано, что получение таких композитов возможно не только на выплавленном пеноалюминии, но и на пористой матрице из алюминиевых сплавов, полученной методом высокоскоростной электрометаллизации. МДО пористого алюминия, в зависимости от марки сплава, приводит к формированию композиционного покрытия, состоящего из различных форм оксида алюминия ( $\alpha$ -,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) и муллита  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , которые по своей природе являются сорбентами как высокомолекулярных, так и низкомолекулярных веществ, в том числе биологических природного происхождения. Целенаправленно варьируя соотношение составляющих покрытия, его структурных компонентов, может быть достигнут синергетический эффект адсорбции как химических веществ, так и клеток микроорганизмов. Полученные результаты открывают новые возможности создания фильтрующих устройств избирательного действия для удержания неорганических и органических ионных форм.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (по договору T23УЗБ-015).*

#### Список литературы

1. Sorbent based on aluminum oxide modified with Tiron / T.I. Tikhomirova [et al.] // Russian Journal of Physical Chemistry A. — 2009. — Vol. 83, iss. 7. — Pp. 1208–1211. — DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024409070280>.
2. Наноразмерный электроположительный волокнистый адсорбент: пат. RU 2304463 С2 / Ф. Теппер, Л. Каледин. — Оpubл. 20.08.2007.
3. Nanostructured  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  synthesis using an arc discharge method and its application as an antibacterial agent against XDR bacteria / A.R. Z. Almotairy [et al.] // Inorganics. — 2023. — Vol. 11, no. 1. — DOI: <https://doi.org/10.3390/inorganics11010042>.
4. Витязь, П.А. Влияние наноразмерных частиц углерода на формирование структуры и свойств микродуговых керамических покрытий на сплавах алюминия / П.А. Витязь, А.И. Комаров, В.И. Комарова // Докл. НАН Беларуси. — Минск, 2013. — Т. 57, № 2. — С. 96–101.
5. Романова, Р.Г. Кислотно-основные свойства поверхности оксидов алюминия / Р.Г. Романова, Е.В. Петрова // Вестн. Казанского технологич. ун-та. — 2006. — № 6. — С. 73–90.
6. Precipitation of alumina gels by a non-hydrolic sol-gel processing method / S. Acosta [et al.] // Journal of non-crystalline solids. — 1994. — Vol. 170, iss. 3. — Pp. 234–242. — DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(94\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0022-3093(94)90052-3).
7. Комаров, А.И. Структура и трибомеханические свойства керамического покрытия, модифицированного в процессе его формирования наноразмерным TiN / А.И. Комаров, П.А. Витязь, В.И. Комарова // Докл. НАН Беларуси. — 2015. — Т. 59, № 4. — С. 113–116.
8. Комаров, А.И. Формирование микродуговым оксидированием модифицированного диоксидом циркония покрытия на алюминиевых сплавах в электролите-суспензии / А.И. Комаров, А.С. Романок, Д.А. Шипалов // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиноведения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2021. — Вып. 10. — С. 342–345.
9. Kaseem, M. Incorporation of  $\text{MoO}_2$  and  $\text{ZrO}_2$  particles into the oxide film formed on 7075 Al alloy via micro-arc oxidation / M. Kaseem, Y. H. Lee, Y. G. Ko // Materials Letters. — 2016. — Vol. 182. — Pp. 260–263. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.07.009>.
10. Сафаров, Ж.А. Исследование физико-химических свойств и химического состава обработанных моторных масел /

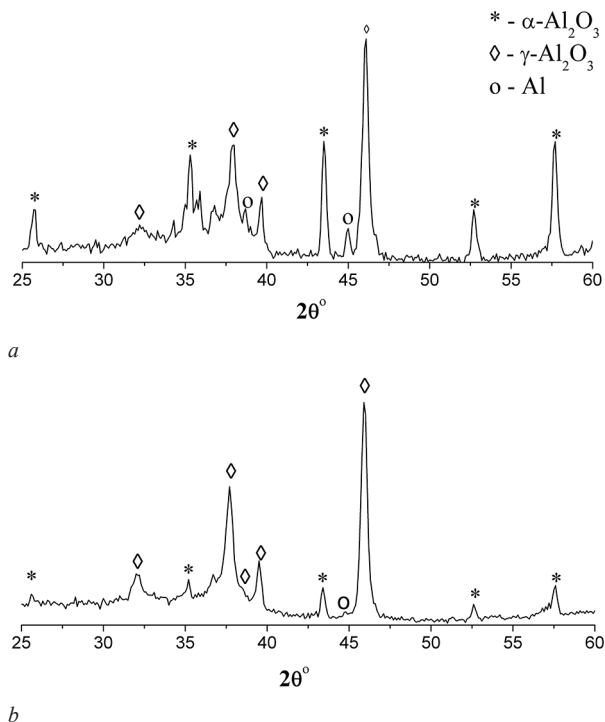


Рисунок 10 — Дифрактограммы покрытий на пористых образцах из сплавов Д16 (а) и АМг6 (б)

Figure 10 — Diffractograms of coatings on porous samples made of D16 (a) and AlMg6 (b) alloys

- Ж.А. Сафаров, Р.Р. Хайитов // Universum: технические науки. — 2021. — № 6(87), ч. 4. — С. 14–19. — DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.87.6.11898>.
11. Surface modified alumina compact: A potential material for decontamination of trivalent and hexavalent chromium and growth inhibitor of microbes from water / H. Uppal [et al.] // *Advanced Materials Letters*. — 2017. — Vol. 8, iss. 5. — Pp. 592–599. — DOI: <https://doi.org/10.5185/amlett.2017.6475>.
  12. Fabrication and characterization of nanoporous anodic alumina membrane using commercial pure aluminium to remove Coliform bacteria from wastewater / H. Aghili [et al.] // *Processing and Application of Ceramics*. — 2019. — Vol. 13, iss. 3. — Pp. 235–243. — DOI: <https://doi.org/10.2298/PAC1903235A>.
  13. Metal oxide surfaces and their interactions with aqueous solutions and microbial organisms / G.E. Brown [et al.] // *Chemical Reviews*. — 1999. — Vol. 99, iss. 1. — Pp. 77–174.
  14. Сорбционная активность различных форм оксида алюминия в отношении возбудителей паразитарных кишечных инфекций / Ю.С. Карамышева [и др.] // *Медицинские новости*. — 2019. — № 12. — С. 70–74.
  15. Воронин, С.В. Способы получения пористых материалов на основе алюминия / С.В. Воронин, П.С. Лобода // *Изв. Самарского науч. центра РАН*. — 2016. — Т. 18, № 4(6). — С. 1068–1074.
  16. Электролит для микродугового оксидирования алюминия и его сплавов: пат. ВУ 22804 / А.И. Комаров, В.И. Комарова, П.С. Золотая, А.С. Романюк. — Опубл. 15.10.2019.
  17. Устройство и способ для микродугового оксидирования металлического образца: пат. ВУ 23061 / А.И. Комаров, П.А. Витязь, Е.Я. Полонецкий, С.А. Долгих, П.С. Золотая. — Опубл. 29.04.2020.

### KOMAROV Aleksandr I., Ph. D. in Eng.

Head of the Laboratory of Modification Techniques of Structural Materials of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”<sup>1</sup>

E-mail: [al\\_kom@tut.by](mailto:al_kom@tut.by)

### ORDA Dmitriy V.

Researcher of the Laboratory of Modification Techniques of Structural Materials of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”<sup>1</sup>

E-mail: [dmitry\\_orda@mail.ru](mailto:dmitry_orda@mail.ru)

### CHERNIAVSKAYA Alexandra S.

Researcher of the Laboratory of Modification Techniques of Structural Materials of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”<sup>1</sup>

E-mail: [romanuk.alexandra1@gmail.com](mailto:romanuk.alexandra1@gmail.com)

### SOSNOVSKIY Aleksey V., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Leading Researcher of the Laboratory of Gas-Thermal Methods of Machine Component Hardening of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”<sup>1</sup>

E-mail: [sosnovskij@inbox.ru](mailto:sosnovskij@inbox.ru)

### SHIPALOV Dmitry A.

Junior Researcher of Modification Techniques of Structural Materials of the R&D Center “Mechanical Engineering Technologies and Processing Equipment”<sup>1</sup>

E-mail: [dmitry60@gmail.com](mailto:dmitry60@gmail.com)

<sup>1</sup>Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 28 February 2024.

## STRUCTURE AND PROSPECTS FOR APPLICATION OF POROUS OXIDIZED ALUMINUM AS AN ADSORBENT

*The paper presents the results of microarc oxidation of porous aluminum made of alloys AlSi15, Д16 (D16) and AlMg6. According to research, on the surface of the sample, a composite oxide-ceramic coating is formed, consisting of mullite  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  and (or) various forms of aluminum oxide ( $\alpha$ -,  $\gamma$ - $Al_2O_3$ ). It is shown that on the surface of porous aluminum, as well as in the pores of a cast sample, a coating is formed consisting of electropositive and electronegative sorption materials, aluminum oxides and aluminosilicates. Moreover, by changing the composition of the aluminum alloy and micro-arc oxidation modes, it is possible to control the phase composition of the coating being formed, which opens up the possibility of creating selective filter devices to retain either anionic or cationic inorganic compounds and microbiological objects.*

**Keywords:** porous aluminum, ceramic coating, aluminum oxide, microarc oxidation, structure, phase composition

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-88-95>

## References

1. Tikhomirova T.I., Kubyshev S.S., Ivanov A.V., Nesterenko P.N. Sorbent based on aluminum oxide modified with Tiron. *Russian journal of physical chemistry A*, 2009, vol. 83, iss. 7, pp. 1208–1211. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0036024409070280>.
2. Tepper F., Kaledin L. *Nanorazmernyy elektropolozhitelnyy voloknistyy adsorbent* [One-nanometer positive fiber adsorbent]. Patent RU, no. 2304463 C2, 2007 (in Russ.).
3. Almotairy A.R.Z., Amer A.M., El-Kady H., Elwakil B.H., El-Khatib M., Eldrieny A.M. Nanostructured  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> synthesis using an arc discharge method and its application as an antibacterial agent against XDR bacteria. *Inorganics*, 2023, vol. 11, iss. 1. DOI: <https://doi.org/10.3390/inorganics11010042>.
4. Vityaz P.A., Komarov A.I., Komarova V.I. Vliyaniye nanorazmernykh chastits ugleroda na formirovaniye struktury i svoystv mikrodogovykh keramicheskikh pokrytiy na splavakh alyuminiya [Influence of nanosized carbon particles on the formation of structure and properties of micro-arc ceramic coatings on aluminum alloys]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2013, vol. 57, no. 2, pp. 96–101 (in Russ.).
5. Romanova R.G., Petrova E.V. Kislotno-osnovnyye svoystva poverkhnosti oksidov alyuminiya [Acid-base properties of aluminum oxide surfaces]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2006, no. 6, pp. 73–90 (in Russ.).
6. Acosta S., Corriu R.J.P., Leclercq D., Lefèvre P., Mutin P.H., Vioux A. Preparation of alumina gels by a non-hydrolic sol-gel processing method. *Journal of non-crystalline solids*, 1994, vol. 170, iss. 3, pp. 234–242. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(94\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0022-3093(94)90052-3).
7. Komarov A.I., Vityaz P.A., Komarova V.I. Struktura i tribomekhanicheskie svoystva keramicheskogo pokrytiya, modifitsirovannogo v protsesse ego formirovaniya nanorazmernym TiN [Structure and tribo-mechanical properties of the ceramic coating modified by nanosized TiN during its shaping]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2015, vol. 59, no. 4, pp. 113–116 (in Russ.).
8. Komarov A.I., Romanyuk A.S., Shipalov D.A. Formirovaniye mikrodogovym oksidirovaniem modifitsirovannogo dioksidom tsirkoniya pokrytiya na alyuminiyevykh splavakh v elektrolyte-suspensii [Formation of a coating modified zirconium dioxide on aluminum alloys in an electrolyte-suspension by microarc oxidation]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2021, iss. 10, pp. 342–345 (in Russ.).
9. Kaseem M., Lee Y.H., Ko Y.G. Incorporation of MoO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub> particles into the oxide film formed on 7075 Al alloy via micro-arc oxidation. *Materials letters*, 2016, vol. 182, pp. 260–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.07.009>.
10. Safarov J., Khayitov R. Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoystv i khimicheskogo sostava otrabotannykh motornykh masel [Research of physical and chemical properties and chemical composition of used engine oils]. *Universum: tekhnicheskaya nauka*, 2021, no. 6(87), part 4, pp. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.32743/UniTech.2021.87.6.11898> (in Russ.).
11. Uppal H., et al. Surface modified alumina compact: A potential material for decontamination of trivalent and hexavalent chromium and growth inhibitor of microbes from water. *Advanced materials letters*, 2017, vol. 8, iss. 5, pp. 592–599. DOI: <https://doi.org/10.5185/amlett.2017.6475>.
12. Aghili H., Hashemi B., Bahrololoom M.E., Jahromi S.A.J. Fabrication and characterization of nonporous anodic alumina membrane using commercial pure aluminum to remove Coliform bacteria from wastewater. *Processing and application of ceramics*, 2019, vol. 13, iss. 3, pp. 235–243. DOI: <https://doi.org/10.2298/PAC1903235A>.
13. Brown G.E., et al. Metal oxide surfaces and their interactions with aqueous solutions and microbial organisms. *Chemical reviews*, 1999, vol. 99, iss. 1, pp. 77–174. DOI: <https://doi.org/10.1021/cr980011z>.
14. Karamysheva Yu.S., Komarov A.I., Gudkov V.G., Orda D.V., Iskandarova D.O. Sorbtionnaya aktivnost razlichnykh form oksida alyuminiya v otnoshenii vozbuditeley parazitarnykh kishhechnykh infektsiy [Sorption activity of various forms of aluminum oxide against pathogens of parasitic intestinal infections]. *Meditsinskie novosti*, 2019, no. 12, pp. 70–74 (in Russ.).
15. Voronin S.V., Loboda P.S. Sposoby polucheniya poristykh materialov na osnove alyuminiya [Methods of obtaining porous materials based on aluminum]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2016, vol. 18, no. 4(6), pp. 1068–1074 (in Russ.).
16. Komarov A.I., Komarova V.I., Zolotaya P.S., Romanyuk A.S. *Elektrolit dlya mikrodogovogo oksidirovaniya alyuminiya i ego splavov* [Electrolyte for microarc oxidation of aluminum and its alloys]. Patent BY, no. 22804, 2019 (in Russ.).
17. Komarov A.I., Vityaz P.A., Polonetsiy E.Ya., Dolgikh S.A., Zolotaya P.S. *Ustroystvo i sposob dlya mikrodogovogo oksidirovaniya metallicheskogo obraztza* [Device and method for microarc oxidation of a metal sample]. Patent BY, no. 23061, 2020 (in Russ.).