

УДК 620.197+621.794

DOI: 10.46548/21vek-2021-1056-0043

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ ЛЮДЕЙ С НАРУШЕНИЯМИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

© 2021

**Золкин Алексей Николаевич**, аспирант кафедры «Технология машиностроения»**Павлов Андрей Иванович**, студент факультета промышленных технологий**Чуфистов Олег Евгеньевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, 1а/11,**e-mails: bornone@mail.ru, pavlovandrei2015@yandex.ru, kurator06m2@mail.ru)*

**Аннотация.** Изучена возможность применения методов традиционного анодирования и микродугового оксидирования для обработки некоторых изделий, изготовленных из алюминиевых сплавов и используемых в повседневной жизни людьми с нарушениями опорно-двигательного аппарата. Показано, что данные методы электролитического оксидирования позволяют получать на поверхностях алюминиевых сплавов оксидные покрытия, при этом покрытия, формируемые методом традиционного анодирования, преимущественно состоят из аморфного оксида алюминия, имеют низкую пористость и малую шероховатость наружных поверхностей, а покрытия, формируемые методом микродугового оксидирования, преимущественно состоят из кристаллического оксида алюминия, имеют малую пористость внутренних слоев, большую пористость внешних слоев и достаточно высокую шероховатость наружных поверхностей. Результатами натурных испытаний подтверждено, что обработка методами электролитического оксидирования позволяет комплексно улучшить эксплуатационные характеристики пандусов, кресел-колясок, ходунков, костылей и тростей. Установлено, что формируемые покрытия защищают подобные изделия от механических и коррозионных повреждений, улучшают внешний вид и повышают коэффициент трения при скольжении кожи, резины и полиуретана по их поверхностям. Выявлено, что у наружных поверхностей покрытий, формируемых микродуговым оксидированием, проявляется хорошая адгезия с лакокрасочными материалами, а внешние слои таких покрытий хорошо пропитываются жидким стеклом, которое при эксплуатации изделий в зимних условиях обеспечивает их защиту от обледенения.

**Ключевые слова:** алюминиевые сплавы, пандусы, кресла-коляски, ходунки, костыли, трости, традиционное анодирование, микродуговое оксидирование, покрытия, эксплуатационные свойства.

**APPLICATION OF ELECTROLYTIC OXIDATION METHODS TO SOLVE SOME PROBLEMS OF PEOPLE WITH DISORDERS OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM**

© 2021

**Zolkin Alexey Nikolaevich**, postgraduate student of department «Engineering Technology»**Pavlov Andrey Ivanovich**, student of faculty of industrial technologies**Tchufistov Oleg Evgenevich**, candidate of technical sciences,  
associate professor of department «Engineering technology»*Penza State Technological University**(440039, Russia, Penza, Baydukov bystreet /Gagarin street, 1a/11,**e-mails: bornone@mail.ru, pavlovandrei2015@yandex.ru, kurator06m2@mail.ru)*

**Abstract.** The possibility of using the methods of traditional anodizing and micro-arc oxidation for processing some products made of aluminum alloys and used in everyday life by people with disorders of the musculoskeletal system has been studied. It is shown that these methods of electrolytic oxidation make it possible to obtain oxide coatings on the surfaces of aluminum alloys, while coatings formed by traditional anodizing mainly consist of amorphous aluminum oxide, have low porosity and low roughness of the outer surfaces, and coatings formed by micro-arc oxidation mainly consist of crystalline aluminum oxide, have low porosity of the inner layers, large porosity of the outer layers and sufficiently high roughness of the outer surfaces. The results of field tests confirmed that the treatment by electrolytic oxidation methods allows to comprehensively improve the performance characteristics of ramps, wheelchairs, walkers, crutches and canes. It is established that the formed coatings protect such products from mechanical and corrosion damage, improve the appearance and increase the coefficient of friction when sliding leather, rubber and polyurethane on their surfaces. It was revealed that the outer surfaces of coatings formed by microarc oxidation exhibit good adhesion with paint and varnish materials, and the outer layers of such coatings are well impregnated with liquid glass, which, when operating products in winter conditions, provides them with protection from icing.

**Keywords:** aluminum alloys, ramps, wheelchairs, walkers, crutches, canes, traditional anodizing, micro-arc oxidation, coatings, performance properties.

**Введение.** В последние десятилетия методы электролитического оксидирования, включая традицион-

ное анодирование (ТА) и микродуговое оксидирование (МДО), успешно используются в транспортном

и среднем машиностроении для повышения эксплуатационных свойств изготовленных из алюминиевых сплавов элементов сложных технических систем [1-5]. Гораздо меньше внимания уделяется применению этих методов для улучшения жизни людей с ограниченными возможностями здоровья.

В Российской Федерации на 1 января 2021 г. проживали 146,2 млн. человек [6]. Из них 11,6 млн. человек имели инвалидность [7]. Понятие «инвалидность» представляет собой часть другого, более широкого понятия – «ограниченные возможности здоровья». Люди с ограниченными возможностями здоровья имеют некоторые физические или психические особенности, вызывающие трудности в повседневной жизни. К числу людей с ограниченными возможностями здоровья относятся люди с нарушениями опорно-двигательного аппарата. Для преодоления выпадающих на их долю трудностей они вынуждены постоянно использовать пандусы, кресла-коляски, ходунки, костыли, трости, для изготовления которых все чаще используются алюминиевые сплавы [8, 9], характеризующиеся высокой удельной прочностью, хорошей технологичностью и относительно невысокой стоимостью [10, 11].

Однако, у перечисленных изделий, изготовленных из алюминиевых сплавов, даже при относительно непродолжительной эксплуатации проявляются отдельные недостатки. Пандусы быстро теряют первоначальный внешний вид и не всегда обеспечивают необходимое сцепление при контакте с колесами кресел-колясок, наконечниками костылей и обувными подошвами, особенно в условиях высокой влажности и обледенения. Стопорные кольца кресел-колясок, рукоятки и ножки ходунков, костылей, тростей также не безупречны – алюминиевые сплавы, используемые для их изготовления, легко царапаются, по ним скользят ладони, а в их кожу при этом вьедается алюминий. Попытки устранить перечисленные недостатки путем нанесения лакокрасочных покрытий позволяют получить положительный эффект только на краткосрочный период, поскольку лакокрасочные материалы со временем начинают отслаиваться от поверхностей изделий из алюминиевых сплавов вследствие слабой адгезии.

С целью проверки эффективности применения методов ТА и МДО для устранения перечисленных недостатков и улучшения эксплуатационных свойств изделий, предназначенных для людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата, проведены комплексные исследования.

**Материалы и результаты исследований.** Фрагменты листов пандусов, стопорные кольца кресел-колясок, рукоятки и ножки ходунков, костылей и тростей из сплавов типа АМг3, АМг6 и Д16 подвергали обработке методами ТА и МДО. Обработку ТА проводили в течение 10...40 минут в анодном режиме в водном растворе щавелевой кислоты (30 г/л) при его средней температуре 20°C и плотности тока на поверхностях обрабатываемых изделий 2 А/дм<sup>2</sup>. Обработку МДО проводили в течение 10...60 минут в анодно-катодном режиме в водном растворе едкого кали (5 г/л) и жидкого стекла (6 г/л) при его средней температуре 25°C и плотности тока на поверхностях обрабатываемых изделий в анодном полупериоде 15 А/дм<sup>2</sup>. Толщину и микроструктуру покрытий, их фазовый состав и шероховатость их наружных поверхностей исследовали с помощью металлографического микроскопа МИМ-8, дифрактометра ДРОН-4 и профилометра Surtronic S-100 соответственно. Микротвердость покрытий измеряли в средней зоне по их поперечным микрошлифам с помощью микротвердомера ПМТ-3М. Коэффициенты трения резины, полиуретана и искусственной кожи по покрытиям изучали с помощью лабораторного трибометра. Эксплуатационные свойства обработанных методами ТА и МДО изделий определяли по результатам натурных испытаний в сравнении с эксплуатационными свойствами аналогичных изделий, которые не подвергались обработке методами ТА и МДО. Перед натурными испытаниями на покрытия некоторых изделий с помощью краскопульта дополнительно наносили акриловые краски и жидкое стекло до получения визуально сплошного равномерного слоя.

Установлено, что обработка ТА обеспечивает формирование плотных глянцевых покрытий (ТА-покрытий), преимущественно состоящих из аморфного оксида алюминия. В процессе роста ТА-покрытий на сплавах АМг3 и АМг6 их цвет меняется от золотистого до бронзового, а на сплаве Д16 – остается светло-серым. Обработка МДО обеспечивает формирование пористых матовых покрытий (МДО-покрытий), преимущественно состоящих из модификаций кристаллического оксида алюминия  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В процессе роста МДО-покрытий на сплавах АМг3, АМг6 и Д16 их цвет остается светло-серым, а на сплаве Д16 – светло-серым со слабым коричневым оттенком. Особенности строения ТА-покрытий и МДО-покрытий, отраженные в таблице 1, достаточно хорошо согласуются с данными, приведенными в других работах [12-15], хотя и имеют некоторые незначительные отличия по значениям толщины и пористости.

Таблица 1 – Особенности строения покрытий, формируемых на алюминиевых сплавах методами ТА и МДО

Сплав основы	Метод обработки	Основа покрытия	Цвет покрытия	Толщина покрытия, мкм	Пористость покрытия, %		Шероховатость покрытия, Ra
					внутренние слои	наружные слои	
АМг3	ТА	аморфный оксид алюминия	золотистый,	28...70	0,9	2,4	0,4...0,8
АМг6			бронзовый	26...65	0,9	2,4	0,4...0,8
Д16			серый	21...49	1,0	2,8	0,4...1,0
АМг3	МДО	-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	серый	44...154	1,2	9,2	0,8...3,2
АМг6				43...149	1,2	9,4	0,8...3,2
Д16			серый	40...142	1,2	9,8	0,8...3,4

Выявлено, что ТА-покрытия и МДО-покрытия отличаются не только по строению и составу, но и по свойствам. Твердость ТА-покрытий находится в интервале 350...550 HV (3,5...5,5 ГПа), т.е. сопоставима с твердостью закаленных среднеуглеродистых конструкционных сталей. Твердость МДО-покрытий значительно выше и находится в интервале 1150...1650 HV (11,5...16,5 ГПа), что также в значительной мере сочетается с данными в других работах [16-19].

Доказано, что значения коэффициентов трения резины, полиуретана и искусственной кожи по ТА-покрытиям и МДО-покрытиям значительно выше, чем по алюминиевым сплавам, не обработанным ТА и МДО. Причем, наиболее существенное увеличение коэффициента трения можно обеспечить путем нанесения на поверхности алюминиевых сплавов МДО-покрытий с более высокой шероховатостью наружных поверхностей.

Отмечено, что нанесенные на поверхности изделий акриловые краски и жидкое стекло после полного высыхания сложнее удаляются с поверхностей с ТА-покрытиями, чем с поверхностей не обработанных ТА и МДО. А с поверхностями с МДО-покрытиями, особенно с высокой шероховатостью, полностью удалить следы акриловых красок и жидкого стекла, как правило, не представляется возможным, поскольку они остаются в порах и впадинах поверхностного микрорельефа.

Натурными испытаниями продолжительностью не менее 12 месяцев подтверждено, что фрагменты листов пандусов с ТА-покрытиями и МДО-покрытиями меньше изнашиваются и более устойчивы к механическим и коррозионным повреждениям. При этом фрагменты листов пандусов с ТА-покрытиями дольше сохраняют первоначальный внешний вид, чем фрагменты листов пандусов с МДО-покрытиями, во внешние пористые слои которых проникают разные вещества из внешней среды. Однако МДО-покрытия обеспечивают лучшее сцепление с материалами колес кресел-колясок, обувных подошв и наконечников ходунков, тростей и костылей. Особенно хорошо это заметно, когда колеса одной стороны кресла-коляски движутся по полосе с МДО-покрытием, а колеса другой стороны – по поверхности пандуса с тонкой естественной оксидной пленкой. Кроме того, внешние пористые слои МДО-покрытий хорошо пропитываются жидким стеклом, которое препятствует не только потере первоначального внешнего вида пандусов, но и их обледенению, а, следовательно, и неконтролируемому скольжению по пандусам.

Показано, что стопорные колеса кресел-колясок, рукоятки и ножки ходунков, костылей с ТА-покрытиями и МДО-покрытиями меньше подвержены механическим и коррозионным повреждениям, лучше сцепляются с кожей ладоней и не оставляют на ней следов алюминия даже при длительном интенсивном использовании. При этом ТА-покрытия позволяют дольше сохранить первоначальный внешний вид данных элементов изделий, поскольку во внешние пори-

стые слои МДО-покрытий проникают потожировые выделения и разные вещества из внешней среды. Также следует отметить, что лакокрасочные материалы практически вообще не отслаиваются от элементов с МДО-покрытиями, а небольшие отслаивания лакокрасочных материалов от ТА-покрытий в редких случаях все же имеют место.

**Заключение.** Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что с помощью ТА и МДО на поверхностях изделий из алюминиевых сплавов, предназначенных для людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата, можно получать качественные ТА-покрытия и МДО-покрытия. При этом ТА-покрытия преимущественно состоят из аморфного оксида алюминия, характеризуются малой пористостью внутренних и внешних слоев и невысокой шероховатостью наружных поверхностей. МДО-покрытия преимущественно состоят из кристаллического оксида алюминия, характеризуются малой пористостью внутренних слоев, большой пористостью внешних слоев и достаточно высокой шероховатостью наружных поверхностей. Значительная твердость аморфного и кристаллического оксида алюминия обеспечивает повышенную устойчивость ТА-покрытий и МДО-покрытий к истиранию и механическим повреждениям, а хорошая химическая стойкость оксида алюминия [20] в сочетании с малой пористостью внутренних слоев ТА-покрытий и МДО-покрытий обуславливают их высокую устойчивость к коррозии. Малая пористость наружных слоев и невысокая шероховатость поверхностей ТА-покрытий препятствуют налипанию и проникновению в них различных веществ из внешней среды, вследствие чего такие покрытия долго способны сохранять свой внешний вид, но, несмотря на это, их сцепление с резиной, полиуретаном и кожей немного лучше, чем у поверхностей изделий, покрытых тонкими естественными пленками. Большая пористость внешних слоев и достаточно высокая шероховатость поверхностей МДО-покрытий обеспечивают их хорошие фрикционные свойства, наилучшее сцепление с резиной, полиуретаном и кожей, повышенную адгезию лакокрасочных материалов и жидкого стекла, способного уменьшить обледенение. Потому формирование ТА-покрытий и МДО-покрытий позволяет улучшить эксплуатационные свойства изделий, изготовленных из алюминиевых сплавов и предназначенных для людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата. Это улучшение эксплуатационных свойств создает условия не только для экономии сил и получения положительных эмоций потребителями этих изделий при решении своих повседневных бытовых задач, но и для повышения уровня их безопасности, ведь проскальзывание ладоней по поверхностям тростей или костылей, неконтролируемое скольжение колес кресел-колясок по пандусам может привести к получению тяжелых травм и другим крайне нежелательным последствиям. В связи с этим, представляется крайне необходимым обеспечить внедрение представленной

разработки в серийное производство, а также изучить возможности использования других сложных производственных технологий для решения повседневных проблем людей с ограниченными возможностями здоровья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Парфенов Е.В., Фаткулин А.Р., Лазарев Д.М., Шевчук И.Ю., Даутов А.И. Автоматизированная технологическая установка твердого анодирования деталей вертолетов с диагностикой толщины покрытия // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т.18. – С. 73-79.
2. Ившин Я.В., Бурмистров А.В., Саликеев С.И., Капустин Е.Н. Анодирование спиральных элементов вакуумных насосов // Вестник КТУ. – 2011. – Т.18. – №3. – С. 116-119.
3. Злотников И.И., Пронев И.О., Сологубов А.П. Исследование свойств модифицированных керамических покрытий, получаемых методом микроплазменного анодирования на поверхности алюминия // Вестник КГТУ. – 2019. – №1. – С. 35-40.
4. Гирн А.В., Хартов В.В., Вахтеев Е.В., Евкин И.В. Совершенствование технологии нанесения защитных покрытий на конструкции космических аппаратов микродуговым оксидированием // Вестник СибГАУ. – 2011. – №5(38). – С. 134-137.
5. Степанова С.В., Замятин Д.А., Трушкина Т.В., Михеев А.Е. Актуальность микродугового оксидирования в задачах упрочнения изделий ракетно-космической техники // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – Т.1. – С. 141-142.
6. Сайт Федеральной службы государственной статистики РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения 11.11.2021).
7. Сайт Федеральной службы государственной статистики РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964> (дата обращения 11.11.2021).
8. Zackowitz I.B., Vredenburg A.G., Hedge A. A critical analysis of the usability and design of aluminum wheelchair ramps // Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. – 2005. – 49(8). – P. 803-807.
9. Liu H.-Y., Pearlman J., Cooper R., Hong E.-K., Wang H., Salatin B. Evaluation of aluminum ultralight rigid wheelchairs versus other ultralight wheelchairs using ANSI/RESNA standards // Journal of Rehabilitation Research and Development. – 2010. – 47(5). – P. 441-455.
10. Митяев А.А., Беликов С.Б., Волчок И.П. Производство и применение алюминиевых сплавов в транспортном машиностроении // Вестник двигателестроения. – 2006. – №1. – С. 155-158.
11. Васина М.А. История получения и применения алюминия и его сплавов // Вопросы истории естествознания и техники. – Т. 41. – №3. – С. 560-575.
12. Chufistov O.E., Chufistov E.A., Artemiev V.P. Technology, structure and properties of coatings, formed by anodic oxidation methods on aluminum and its alloys // Non-ferrous Metals. – 2010. – №2. – С. 37-40.
13. Аль-Бдейри М.Ш.Х. Обзор методов гальвано-плазменной модификации для производства анодированных покрытий на сплавах алюминия: микроструктура, свойства и применение // Вестник ПНИПУ. – 2020. – Т.23. – №3. – С. 51.-59.
14. Tchufistov O.E., Tchufistov E.A., Zolkin A.N. Breakdown voltage and electrical strength of oxide coatings formed on aluminum alloys by electrolytic oxidation methods // Materials Today: Proceeding. – 2021. – V.38. – №5. – P. 1728-1731.
15. Малышев В.Н. Оптимизация процесса формирования износостойких керамических покрытий методом микродугового оксидирования // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. №9. С. 32-38.
16. Горчаков А.И., Бородин Н.М., Кривоносова Е.А. Кинетические закономерности формирования покрытий на сплавах алюминия при микродуговом оксидировании // Вестник ПНИПУ. – 2011. – Т.13. – №4. – С. 78.-85.
17. Атрощенко Э.С., Чуфистов О.Е., Казанцев И.А., Симцов В.В. Структура и микротвердость покрытий, формируемых методами анодного оксидирования, на изделиях из алюминиевых сплавов // Материаловедение. – 2001. – №9. – С. 43-46.
18. Коломейченко А.В., Шарифуллин С.Н., Логачев В.Н., Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Баранов Ю.Н. Свойства покрытий, сформированных плазменным электролитическим оксидированием, на пластически деформированном алюминиевом сплаве АО3-7 // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. – 2019. – Т.1. – №10. – С. 428-432.
19. Марков М.А., Быкова А.Д., Красиков А.В., Фармаковский Б.В., Теращенко Д.А. Формирование износ- и коррозионностойких покрытий микродуговым оксидированием алюминия // Новые огнеупоры. – 2018. – №4. – С. – 124-131.
20. Абызов А.М. Оксид алюминия и алюмооксидная керамика. Свойства Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и промышленное производство дисперсного Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // Новые огнеупоры. – 2019. – №1. – С. 16-23.

*Статья публикуется при поддержке гранта  
Фонда содействия инновациям, выделенного по до-  
говору 15279ГУ от 14.06.2020 г. в рамках программы  
«УМНИК»*

*Статья поступила в редакцию 22.10.2021*

*Статья принята к публикации 07.12.2021*