

При отсутствии ошибок и коллизий анимация будет полностью имитировать движение проектируемого насоса.

Использование КОМПАС-3D Анимация позволяет наглядно продемонстрировать движение механизмов, визуализировать работу отдельных узлов и компонентов, а также выявить потенциальные проблемы в их взаимодействии.

Литература

1. Механика: Анимация. Машиностроительное приложение / САПР Компас-3D. – URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/animation/>.
2. Объемные гидро- и пневмомашины : учеб.-метод. пособие по курсовому проектированию для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» днев. и заоч. форм обучения / Д. В. Лаевский, Ю. А. Андреевец. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 137 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. Ю. Писарев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. И. Злотников

Рассмотрена технология нанесения оксидно-керамических покрытий на изделия из алюминиевых сплавов методом микродугового оксидирования. Процесс проводили на переменном токе частотой 50 Гц при постоянной плотности тока 6 А/дм^2 с использованием щелочно-силикатного электролита. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению коррозионной стойкости полученных покрытий, в том числе в условиях контактной коррозии. Установлено, что покрытие успешно защищает поверхность алюминиевых деталей от различных видов коррозии. Отмечено, что особенно эффективно применение оксидно-керамических покрытий в условиях контактной коррозии «алюминий–сталь».

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, алюминиевые сплавы, контактная коррозия, коррозионностойкие покрытия.

Технология микродугового оксидирования (МДО) заключается в том, что под действием высокого напряжения, создаваемого между находящейся в электролите деталью (анодом) и катодом, на поверхности детали возникают мигрирующие точечные микродуговые разряды, под действием которых поверхностный слой детали оксидируется с образованием керамического покрытия, прочно сцепленного с основой. Получаемое покрытие состоит преимущественно из кристаллического оксида материала анода – для алюминия это $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ во внутренних слоях покрытия и муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) – во внешних. Такие покрытия обладают повышенной твердостью, износостойкостью, высокими диэлектрическими свойствами и находят применение в различных областях техники. Регулируя составы электролита и режимы проведения оксидирования, можно получать антикоррозионные и износостойкие, декоративные и изоляционные, теплозащитные и упрочняющие покрытия. В настоящее время МДО считается наиболее перспективным способом модифицирования поверхности деталей из алюминиевых сплавов, так как позволяет получать покрытия с более высокими физико-химическими и механическими свойствами по сравнению с другими методами [1].

Алюминиевые сплавы благодаря прочности, легкости и простоте обработки получили большое распространение при изготовлении различных деталей и узлов машин. Высокие эксплуатационные качества и большое разнообразие сплавов с различными свойствами позволили алюминию найти широкое применение и в нефтедобывающей промышленности. В настоящее время успешно применяются такие изделия, как буровые, насосно-компрессорные, обсадные и прочие виды труб, элементы насосно-компрессорного оборудования, резервуары для транспортирования и хранения нефти, фасонные изделия и др. В нефтяной промышленности одними из главных достоинств алюминиевых изделий становятся их низкий удельный вес и более высокая удельная прочность, вследствие чего, в частности, снижаются затраты на проведение спуско-подъемных операций. Это имеет особое значение в современных условиях, когда возрастает необходимость разработки новых залежей, располагающихся на больших глубинах и в более сложных геологических пластах. Но алюминий и его сплавы в контакте со сталями образуют контактную гальваническую пару, в которой алюминий, имея более отрицательный электрохимический потенциал, является анодом и подвергается коррозионному разрушению. Данная проблема возникает при соединении алюминиевых труб стальным замком, в резьбовых соединениях и при других типах фиксации деталей на основе алюминия с помощью стального крепежа. К одному из методов защиты алюминиевых сплавов от коррозии относится нанесение на детали защитных коррозионностойких покрытий, в частности, методом МДО [2].

Цель работы – используя технологию МДО, нанести на поверхность алюминиевых образцов защитное оксидно-керамическое покрытие и изучить его коррозионную стойкость, в том числе в условиях контактной коррозии.

Покрытия наносили на алюминиевую фольгу марки АД1 толщиной 100 мкм. Основываясь на ранее проведенных в ГГТУ им. П. О. Сухого исследованиях [3, 4], в качестве электролита использовали раствор, содержащий силикат натрия (натриевое жидкое стекло) в количестве 50 г/л и гидроксид калия – 2 г/л. Процесс МДО проводили в симметричном анодно-катодном режиме на переменном токе частотой 50 Гц при постоянной плотности тока $j = 6 \text{ А/дм}^2$, которую поддерживали, повышая напряжение по мере роста толщины покрытия, начиная с нескольких вольт до 260 В. Коррозионные испытания проводили по ускоренной методике, приближенной к ГОСТ 9.042-75 при постоянном погружении образцов в 3%-й раствор NaCl при температуре $50 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Для проведения испытаний на контактную коррозию изготавливали конструктивно-подобный образец, имитирующий болтовое соединение «алюминий–сталь». Контактная пара состояла из прямоугольного образца алюминия АД1 без покрытия или с покрытием и шайбы М10 из стали марки ст.3. Два испытуемых металла скрепляли болтовым соединением (болт и гайка М8 из стали марки С1035 с цинковым покрытием). Контактная пара была отделена от материала болта и гайки прокладкой из полиэтилена.

Результаты коррозионных испытаний алюминиевых образцов без покрытия и с покрытием приведены в таблице.

Результаты испытаний на коррозию

Время испытаний	Без покрытия	С покрытием
2,5 суток	Первые признаки коррозии в виде мелких белых хлопьев	Признаков коррозии нет
5 суток	Почти сплошная коррозия	
7 суток	Сплошная коррозия с признаками язвенной	

Как свидетельствуют полученные результаты, нанесение методом МДО оксидно-керамических покрытий обеспечивает высокую стойкость образцов из алюминия в условиях воздействия агрессивной среды.

На рис. 1 показан вид конструктивно-подобного образца, используемого для исследования на контактную коррозию.

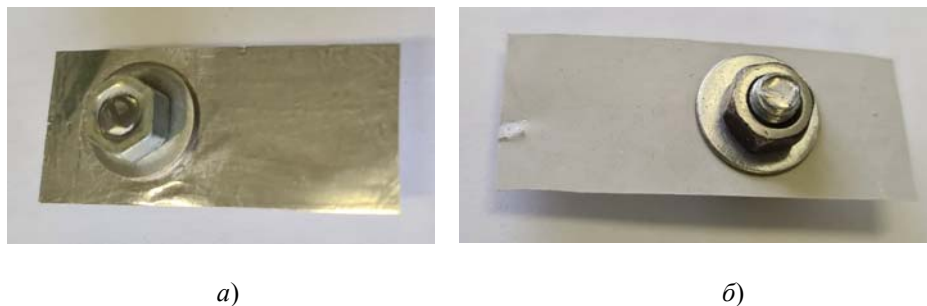


Рис. 1. Исходный конструктивно-подобный образец без покрытия (а) и с покрытием (б)

На рис. 2 приведен вид контактной пары после 3 суток испытаний на коррозию. Видно, что при использовании алюминиевого образца без покрытия оба металла подвержены коррозии. При этом в местах непосредственного контакта металлов коррозия алюминия и стали носит сплошной характер. За пределами контакта признаки коррозии на поверхности алюминия прослеживаются до расстояния 5–10 мм. В случае алюминия с покрытием на стальной шайбе видны начальные признаки коррозии, а на алюминии с покрытием признаков коррозии нет по всей площади образца.

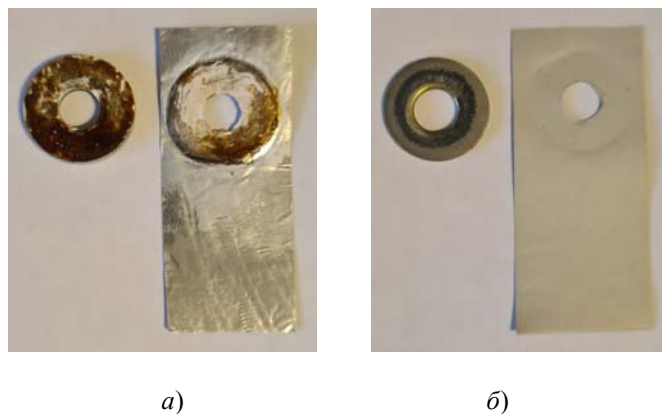


Рис. 2. Разобранный конструктивно-подобный образец после испытаний на коррозию без покрытия (а) и с покрытием (б)

Таким образом, проведенные исследования показали, что технология МДО позволяет получать на поверхности изделий из алюминия керамическое покрытие, стойкое к воздействию агрессивных сред. Такое покрытие может успешно защищать алюминиевые детали от различных видов коррозии. Особенно эффективно применение МДО-покрытий в условиях контактной коррозии «алюминий–сталь».

Литература

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин [и др.]. – М. : ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Трушкина, Т. В. Коррозионная стойкость МДО-покрытий в агрессивных средах / Т. В. Трушкина, А. Е. Михеев, А. В. Гирн // Вестник СибГАУ. – 2014 – № 1. – С. 179–184.
3. Злотников, А. И. Повышение межслоевой адгезии в гибких фольгированных диэлектриках методом микродугового оксидирования / А. И. Злотников, Г. В. Петришин, И. И. Злотников // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. – 2023. – № 1 (92). – С. 41–47.
4. Злотников, И. И. Повышение антифрикционных свойств керамических покрытий, полученных методом МДО на алюминиевых сплавах / И. И. Злотников, В. М. Шаповалов // Трение и износ. – 2019. – Т. 40, № 5. – С. 128–131.

ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ

М. В. Невзоров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Г. В. Петришин

Отмечено, что в последние годы функционализированные металлические порошки вызывают все больший интерес в аддитивном производстве (в частности, в лазерной порошковой плавке) благодаря их улучшенной текучести и технологичности, которые могут обеспечить более высокие конечные механические или физические свойства напыляемых покрытий на детали, такие, как повышенная твердость, более высокая прочность и плотность. Представлен анализ получаемых в настоящее время порошковых покрытий и процессов, используемых для их производства, технологичность систем с покрытиями, полученными с помощью лазерной наплавки.

Ключевые слова: функционализированные металлические порошки, покрытия, лазерная наплавка.

Технологии производства, основанные на порошковой металлургии (ПМ), играют важную роль в нескольких различных отраслях промышленности [1, 2], в том числе и в области технологии обработки новых или изношенных деталей машиностроительного оборудования для получения износостойких и прочных поверхностных покрытий. Необходимость получения таких покрытий привела к разработке функционализированных базовых материалов [3] и оптимизации технологических процессов. В связи с этим в ремонтных работах значительно расширилось использование модифицированных металлических порошков с покрытием, что позволяет улучшить обрабатываемость порошков или изменить микроструктуру, механические, физические и термические свойства готовой детали. Покрывая поверхность порошков, можно изменять температуру плавления [4], сыпучесть и поглощающую способность [5] самого порошка.

Микроструктурные характеристики также могут быть изменены путем нанесения второй фазы, в частности, нанокерамических частиц, таких, как структуры на основе ZrO_2 , Al_2O_3 , B_4C , SiC , TiB_2 , C [6]. Это может привести к появлению механизмов измельчения зерна, что повышает механическую прочность [7]. Механические свойства готовых изделий, такие как прочность на сжатие, твердость, предел текучести, и физические свойства, такие, как плотность, можно улучшить, используя порошки с покрытием [8].