

Рис. 2. Температура поверхности проволоки на 29 переходах при скорости волочения  $v = 5$  м/с

Анализ графика на рис. 2 показывает, что на последних переходах волочения температура поверхности проволоки ниже базовой. Следовательно, пластичность проволоки повышается без потери прочности, что снижает вероятность обрыва.

#### Литература

1. Серегина, Е. С. Обрывность проволоки во время волочения по причинам наличия поверхностных дефектов, наследованных с катанки / Е. С. Серегина // *Литье и металлургия*. – 2017. – Вып. 4. – С. 26–31.
2. Колмогоров, В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушения / В. Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. – 162 с.
3. Качанов, Л. М. Теория ползучести / Л. М. Качанов. – М.: Физматгиз, 1960. – 455 с.
4. Температурно-деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2012. – Вып. 3. – С. 205–209.

## ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ

Е. В. Клекта

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

Научный руководитель И. И. Злотников

Технология микродугового оксидирования (МДО) основана на анодном окислении некоторых металлов (алюминия, титана, магния и их сплавов) в растворе электролита при условии протекания на поверхности анода микроплазменных разрядов. В частности, при МДО алюминия и его сплавов в силикатно-щелочных растворах под действием высокого напряжения на поверхности алюминия возникают мигрирующие точечные микроразряды, под действием которых поверхностный слой оксидируется с образованием керамического покрытия, прочно сцепленного с металлической основой. Согласно современным представлениям [1]–[3] разряд при МДО является газовым и возникает в результате электрического пробоя парогазовых «пробок», образующихся в микропорах растущего пористого оксидного слоя. В результате на поверхности анода формируется оксидно-керамическое покрытие, состоящее преимущественно из кристаллических оксидов алюминия:  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  во внутренних слоях покрытия и муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) во внешних.

Известно, что атомы легирующих элементов, входящие в состав оксидируемого алюминиевого сплава, внедряются в кристаллическую решетку оксидов алюминия, изменяя структуру и свойства покрытия [2], [3]. Но такой способ управления структурой покрытия имеет ограниченное применение. Из тех же источников известно, что при МДО возможен переход ионов металлов из электролита в оксидный слой, что изменяет его свойства. Регулируя составы электролита и режимы проведения оксидирования, можно получать покрытия, обладающие очень высокой прочностью, термостойкостью, высокими диэлектрическими свойствами, коррозионной стойкостью, абразиво- и износостойкостью, совместимостью с биологическими тканями и высокими декоративными качествами.

Целью данной работы является изучение технологии МДО и исследование влияния составов электролитов на некоторые свойства получаемых покрытий.

В качестве объектов исследований использовали алюминиевую фольгу марки АД1 толщиной 100 мкм и пластины толщиной 1 мм, из которых изготавливали прямоугольные электроды площадью 10 см<sup>2</sup>. Кроме того, покрытия наносили на некоторые детали из алюминиевого сплава Д16. Процесс МДО алюминия проводили в симметричном анодно-катодном режиме с использованием промышленного переменного тока частотой 50 Гц при постоянной плотности тока равной 6 А/дм<sup>2</sup>, которую поддерживали, плавно повышая с помощью трансформатора напряжение по мере роста толщины покрытия начиная с нескольких вольт до 340 В.

Процесс нанесения покрытия проводили следующим образом. Образец или деталь из алюминия или его сплава подключали к регулируемому источнику переменного напряжения и погружали в электролит. Вторым электродом служила деталь из того же материала, что позволяло обрабатывать сразу две детали. Плавно повышая напряжение на электродах, добивались начала искрения и затем поддерживали постоянную плотность тока до завершения процесса. После завершения процесса нанесения покрытия деталь извлекали из электролита, промывали проточной водой и сушили до полного удаления влаги.

На основе литературных данных [1]–[3], в качестве базового электролита использовали водный раствор, содержащий натриевое жидкое стекло (ЖС) в количестве 30 г/л и гидроксид калия (КОН) в количестве 2 г/л. При попытке использования электролитов с более высоким содержанием ЖС (40 г/л) и КОН (6 г/л) обнаружено, что, хотя микродуговой процесс начинается при более низких напряжениях и рост толщины покрытия происходит более интенсивно, но это приводит к тому, что только самый нижний слой покрытия состоит из прочного оксида алюминия, а поверхностный слой – практически полностью из чистого, очень пористого и рыхлого оксида кремния. При повышении напряжения свыше 300 В процесс МДО в таких электролитах переходит в дуговой режим и начинается постепенное разрушение покрытия. Использование электролитов с меньшей концентрацией ЖС и КОН приводит к тому, что искрение начинается только при напряжении более 200 В и рост толщины покрытия происходит значительно медленнее.

Для изучения влияния составов электролитов на свойства покрытий в состав базового электролита вводили водорастворимые соли железа, кобальта, никеля, молибдена и меди в количестве 0,4 г/л.

Динамика процесса МДО цилиндрического образца из сплава Д16 в течение первых 40 мин показана на рис. 1.

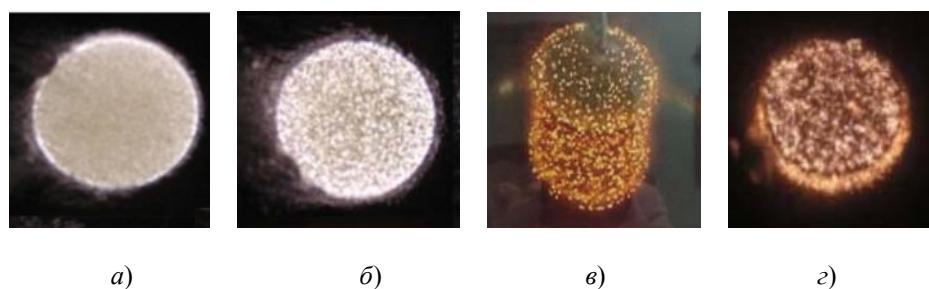








Рис. 1. Динамика процесса МДО на образце из сплава Д16:  
а – 10 мин; б – 20 мин; в – 30 мин; г – 40 мин

Некоторые свойства полученных керамических покрытий приведены в таблице.

### Свойства МДО-покрытий

| Показатель   | Модификатор   |   |   |  |   |   |
|--------------|---|---|---|--|---|---|
|              | Без модификатора  | NiSO <sub>4</sub>   | CuSO <sub>4</sub>   | CoSO <sub>4</sub>  | K <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>   | FeCl <sub>3</sub>   |
| Марка сплава | АД1   | Д16   | АД1   | Д16  | Д16   | АД1   |
| Толщина, мкм | 80  | 55  | 60  | 70   | 70  | 60  |
| Цвет         | Почти белый   | Коричневый  | Темно-синий   | Темно-фиолетовый   | Черный  | Серо-желтый   |
|              |  |  |  |  |  |  |
| Пористость   | Высокая   | Мало выраженная   | Высокая   | Мало выраженная  | Мало выраженная   | Высокая   |

Толщину покрытия измеряли с помощью оптического микроскопа на поперечных шлифах. Вид поперечного шлифа образца из алюминия АД1 с нанесенным покрытием толщиной около 50 мкм приведен на рис. 2, а. На рис. 2, б показана микрофотография поверхности керамического покрытия после окончания процесса МДО. Видно, что покрытие обладает выраженной шероховато-пористой структурой.

Проведенные исследования показали, что ведение в состав базового электролита солей металлов не оказывает заметного влияния на характер протекания процесса МДО, только немного снижается напряжение начала микроискрового процесса, что связано с увеличением проводимости раствора. Кроме того, скорость роста покрытия замедляется – при одном и том же времени проведения процесса обработки толщина образующегося покрытия на 10–30 % меньше, чем у немодифицированных покрытий. Покрытия, полученные в таких электролитах, имеют характерную окраску (см. таблицу), не только в поверхностном слое, но и по всей толщине покрытия, что подтверждает внедрение ионов соответствующих металлов в кристаллическую структуру оксида алюминия. Из таблицы также следует, что пористость керамического покрытия зависит не столько от состава электролита, сколько от состава используемого алюминиевого сплава.

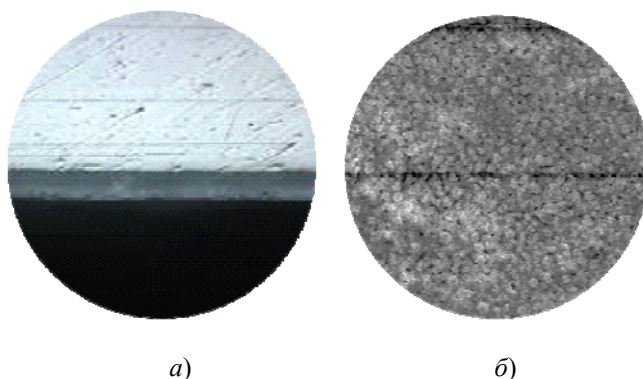


Рис. 2. Микрофотографии поперечного шлифа керамического покрытия на алюминии  $\times 100$  (а) и поверхности покрытия  $\times 200$  (б)

Таким образом, МДО алюминия в щелочно-силикатных электролитах, содержащих соли различных металлов, сопровождается внедрением ионов металлов в оксидно-керамическое покрытие, что приводит к изменению цвета покрытия. При этом пористость покрытия зависит не столько от состава электролита, сколько от состава оксидируемого сплава. Такое модифицирование поверхности алюминия может значительно расширить области применения алюминиевых сплавов в качестве конструктивных материалов, обладающих высокими декоративными качествами.

#### Литература

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов [и др.]. – М. : ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление / Е. В. Парфенов [и др.]. – М. : Машиностроение, 2014. – 380 с.
3. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов : в 2 т. / под ред. И. В. Суминова. – М. : Техносфера, 2011. – Т. 2. – 511 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Дж. Батманов, Ш. Акмырадов

*Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары*

В технологических агрегатах возникает необходимость уплотнения между подвижными и неподвижными частями: корпусом и валом, который может совершать вращательное или другие движения. Для этого используются уплотняющие устройства. Эти устройства разделяются на две основные группы: контактные и бесконтактные.

В современных технических устройствах очень часто используются контактные уплотнения: торцовые и радиальные, фетровые (войлочные), манжетные уплотнения, сальниковые уплотнения и т. д. Также в технологических агрегатах и оборудовании широко применяются бесконтактные гидродинамические уплотнения. В зависимости от принципа действия и соответствующих конструктивных особенностей гидродинамические уплотнения подразделяют на щелевые, винтовые (винтоканавочные), лабиринтные (осевые и лабиринтно-винтовые), радиальные (импеллерные) уплотнения, уплотнения с маслоотгонными винтовыми втулками в виде многозаходной резьбы, маслоотражательные кольца, динамические гидрозатворы и т. д.