

УДК 621.791.75

**И.С. Пономарев, Е.А. Кривоносова, А.И. Горчаков**

**I.S. Ponomarev, E.A. Krivonosova, A.I. Gorchakov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Perm National Research Politechnic University

## **ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ПРОЦЕСС МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ**

### **FEATURES OF THE INFLUENCE OF ELECTRIC MODES ON MICRO-ARC OXIDATION PROCESS**

Проанализированы стадии микродугового оксидирования, механизм образования микродуговых разрядов на поверхности образцов из алюминиевого сплава. Показаны некоторые особенности процесса микродугового оксидирования при работе различных источников питания на различных частотах переменного и постоянного пульсирующего типов электрического тока.

**Ключевые слова:** микродуговое оксидирование, переменный ток, оксидный слой, алюминиевый сплав, форма тока, анодирование.

In this article, an analysis of micro-arc oxidation stages, the mechanism of microarc discharges on the surface of samples of aluminum alloy. Shows some of the features of micro-arc oxidation process at the various power sources at different frequencies AC and DC pulsating current types of electrical wiring.

**Keywords:** microarc oxidation, AC current, oxide layer, aluminum alloy, current form, anodizing.

В последнее время промышленностью все больше востребованы легкие металлические сплавы, обладающие следующими свойствами: высокая прочность (как материала, так и поверхностного слоя), низкая плотность, высокая стойкость к различным видам коррозии, высокая пластичность и теплопроводность. Одним из таких материалов является алюминий и его сплавы. Однако его высокая пластичность и высокая химическая активность затрудняют его использование в производстве различных конструкций. Для устранения подобных недостатков алюминиевых сплавов необходимы различные виды поверхностной обработки. Наиболее популярным методом на данный момент является микродуговое оксидирование поверхности и создание поверхностного слоя, по свойствам схожего с керамикой. Такой поверхностный слой обладает высокой твердостью, износостойкостью и практически не взаимодействует с агрессивными средами.

Процесс микродугового оксидирования (МДО) состоит из нескольких стадий [1]:

- 1) химическое взаимодействие деталей с электролитом, анодирование;
- 2) переходный процесс, характеризующийся образованием искровых пробоев на поверхности и разрыхлением поверхностной пленки;
- 3) микродуговой процесс, представляющий собой возникновение электрических пробоев парогазовых «пробок», образующихся в результате электролизных процессов в порах на поверхности материала и химической модификации поверхностного слоя;
- 4) дуговой процесс, характеризующийся образованием дуговых разрядов на поверхности за счет заполнения микропор поверхностного слоя электролитом, уменьшением сопротивления и увеличением тока. Данный процесс нежелателен при проведении МДО, так как он разрушает уже образованную оксидированную поверхность.

Внешне процесс МДО выглядит следующим образом: при запуске источника питания на поверхности детали образуется слабое свечение, происходит процесс анодирования. Через некоторое время на поверхности образуются яркие микродуговые разряды, которые заполняют всю поверхность детали. Данный процесс является переходом от искрового разряда к микродуговому. Процесс МДО сопровождается ярким свечением всей поверхности детали и слышимым треском.

Физически процесс микродугового оксидирования представляет собой образование электрических пробоев в парогазовых пузырьках на поверхности материала детали. Парогазовые пузырьки образуются на поверхности за счет протекания электролизного процесса и выделения газов электролита в порах поверхности материала [2, 3]. За счет увеличения сопротивления и напряженности электрического поля в парогазовых пузырьках происходит электрический пробой, расплавление металла на дне поровой камеры и его модификация веществами электролита.

В качестве источников тока для проведения микродугового оксидирования чаще всего служат конденсаторные источники питания, упрощенная схема которых выглядит следующим образом (рис. 1).

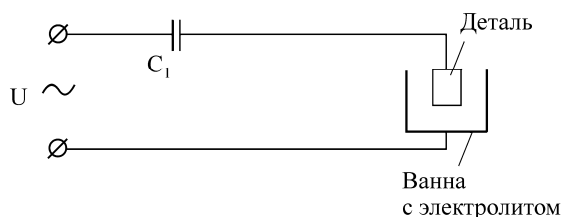


Рис. 1. Принципиальная схема источника питания

Такой источник питания работает от промышленной сети переменного тока, позволяющей получить анодное и катодное напряжение до 1000 В с частотой 50 Гц. Конденсатор  $C_1$  (см. рис. 1) обычно представляет собой конденсаторную батарею, подключаемую в электрическую цепь секционно. За счет подключения нескольких секций конденсаторных батарей можно регулировать напряжение и силу тока при проведении процесса МДО. При этом напряжение на аноде и катоде является переменным и имеет синусоидальную форму.

Существуют и другие схемы источников питания, позволяющие получать выпрямленный ток импульсного вида. Пример упрощенной электрической схемы показан на рис. 2.

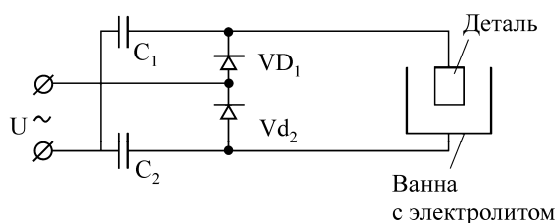


Рис. 2. Принципиальная схема двухполупериодного источника питания постоянного тока

Принцип работы такого источника питания основан на последовательном заряде конденсаторных батарей  $C_1$  и  $C_2$  от сети при помощи диодов  $VD_1$  и  $VD_2$  и разряде их на систему деталь – ванна. При этом ток в системе деталь – ванна всегда определенной полярности и имеет импульсный вид. Амплитудное напряжение импульсов источника питания по данной схеме составляет до 1000 В с частотой импульсов около 100 Гц.

Первая схема источника питания (см. рис. 1) позволяет проводить процесс МДО на «мягком» режиме, т.е. с плавным началом процесса оксидирования и плавным завершением. Оксидный слой на поверхности образца при этом получается равномерным, имеет хорошие свойства.

При проведении МДО по данной схеме можно отметить следующие особенности: микродуговые разряды равномерно покрывают деталь, а сам процесс сопровождается потрескиванием. Однако при этом можно заметить, что дуговые разряды не до конца покрывают образец и «перескакивают» по поверхности с частотой, примерно равной частоте сети. Напряжение между анодом и катодом при этом не превышает 350 В.

При использовании второй схемы источника питания (см. рис. 2) режим оксидирования является «жестким», процесс оксидирования начинается принудительно. Поверхность оксидного слоя, полученного при МДО с данной

схемой источника питания, получилась неравномерной, с заметными прожигами, возникающими за счет появления дуговых разрядов на поверхности образца в процессе МДО.

В качестве особенностей можно выделить резкое начало процесса МДО, более равномерное покрытие микродуговыми разрядами поверхности образца, чем в первом случае, яркое свечение микродуговых разрядов. Однако при данном способе оксидирования на поверхности достаточно часто появлялись яркие красные дуговые разряды, негативно влияющие на равномерность и качество образованного в ходе процесса оксидного слоя. Кроме того, при проведении МДО в системе ванна – деталь одновременно наблюдался анодный процесс. Напряжение между анодом и катодом составляло до 450 В.

Рассмотрение процесса МДО при работе нескольких источников питания позволило выделить следующие особенности. Процесс оксидирования на переменном токе с частотой 50 Гц происходит плавно, без возникновения дуговых разрядов на поверхности образца. Микродуговые разряды при этом неравномерно покрывают деталь, что увеличивает длительность процесса.

Процесс МДО на импульсном токе с частотой 100 Гц на определенной полярности имеет более резкое начало, чем в первом случае, за счет повышенного напряжения между анодом и катодом. Микродуговые разряды при этом покрывают деталь более равномерно, что может быть связано с высокой частотой пульсации. Недостатком является постоянная составляющая тока, что провоцирует наличие процесса анодирования при МДО и возникновение дуговых разрядов, что негативно влияет на качество поверхности.

Таким образом, можно предположить, что увеличение частоты переменного тока может положительно влиять на качественные и экономические характеристики процесса МДО, повышая качество поверхности оксидированного слоя за счет более высокой частоты возникновения микродуговых разрядов и их более равномерного распределения по поверхности образца. Также при работе на переменном токе, в отличие от постоянного, можно избежать процесса анодирования.

Таким образом, были рассмотрены особенности проведения процесса микродугового оксидирования, стадий процесса, механизма возникновения микродуговых разрядов и образования оксидного поверхностного слоя на алюминиевых образцах. Также были рассмотрены наиболее часто встречающиеся источники питания для МДО.

В ходе проведенных наблюдений были выявлены особенности различных схем источников питания процесса МДО, их достоинства и недостатки. Было выявлено влияние переменного и постоянного пульсирующего типов электрического тока на процесс МДО, в частности влияние частоты тока на качество процесса и полученной оксидированной поверхности образцов.

## Список литературы

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Баковец В.В., Поляков О.В., Долговесова И.П. Плазменно-электролитическая анодная обработка материалов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1990. – 168 с.
3. Микродуговое оксидирование защищает металл / И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, А.М. Борисова, Е.А. Романовский [и др.] // Наука в России. – 1990. – № 4. – С. 21–25.

Получено 1.11.2013

**Пономарев Илья Сергеевич** – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: cs8864@mail.com).

**Кривоносова Екатерина Александровна** – доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: katerinakkkk@mail.ru).

**Горчаков Александр Иванович** – кандидат технических наук, профессор, Пермская государственная сельскохозяйственная академия (614000, г. Пермь, ул. Коммунистическая, 23).

**Ponomarev Ilya Sergeevich** – Graduate Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: cs8864@mail.ru).

**Krivososova Ekaterina Alexandrovna** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: katerinakkkk@mail.ru).

**Gorchakov Aleksandr Ivanovich** – Candidate of Technical Sciences, Professor, Perm State Agricultural Academy (614000, Perm, Kommunisticheskaya, 23).