

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

213-1

20-22 октября 2022 года

УДК 621.794.61

А.И. ЗЛОТНИКОВ, инженер (ГГТУ им. П.О. Сухого)
г. Гомель

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА
МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ**

Технология микродугового оксидирования (МДО) металлов заключается в том, что при приложении высокого напряжения между обрабатывающейся деталью (анодом) и рабочим электродом (катодом) погруженными в электролит, на поверхности детали возникают точечные микродуговые разряды, перемещающиеся по поверхности. В результате на поверхности детали формируется оксидно-керамическое покрытие, состоящее из оксида материала анода. Для алюминия это преимущественно $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ во внутренних слоях покрытия и муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot2\text{SiO}_2$) во внешних. Технология МДО успешно применяется для так называемых вентильных металлов (алюминий, титан, магний) и их сплавов у которых оксидные пленки обладают униполярной или асимметричной проводимостью, причем положительный потенциал на металле с анодной оксидной пленкой, соответствует запирающему направлению, аналогичному полупроводниковому вентилю. Такие покрытия обладают повышенной твердостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, высокими диэлектрическими свойствами и находят применение в различных областях техники [1-3]. Но широкому применению таких оксидно-керамических покрытий препятствует главный недостаток технологии МДО – большие затраты электроэнергии при получении покрытий на поверхности изделий из алюминия и его сплавов. Это связано с тем, что при получении толстых покрытий необходимо применять или большую плотность тока, или увеличивать время проведения процесса.

Согласно литературным данным основные потери энергии при проведении МДО связаны в первую очередь с такими процессами, протекающими при оксидировании [1,4,5]:

- нагрев электролита (основные потери), что требует применения устройств для его охлаждения;
- выделение кислорода и водорода, что является следствием протекания электрохимических процессов на катоде и аноде;
- унос тепла выделяющимися газами.

Минимизировать эти процессы и тем самым снизить энергозатраты можно в первую очередь оптимизацией токовых режимов проведения процесса МДО. Подбор оптимальных токовых режимов может изменить

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

213-2

20-22 октября 2022 года

характер протекания электрохимических реакций в приэлектродном пространстве, что и уменьшит энергозатратность процесса за счет увеличения выхода по току и увеличения скорости осаждения.

Целью исследования является изучение влияния токовых режимов на энергозатраты при проведении МДО алюминиевых сплавов.

Для проведения исследований была изготовлена лабораторная установка, которая позволяет преобразовывать переменное синусоидальное напряжение в асимметричное переменное и получать переменный ток с различной амплитудой и шириной анодных и катодных импульсов. Схема установки приведена на рис. 1.

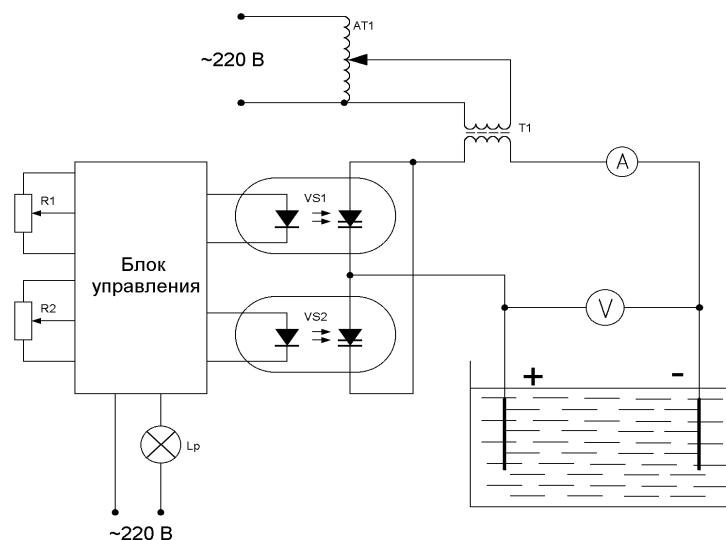


Рис.1 – Схема установки для проведения процесса МДО.

AT1 – автотрансформатор, T1 – мощный трансформатор, VS1, VS2 – оптотиристоры, R1, R2 – регулировочные резисторы, Lp – электролампа

Установка работает следующим образом. При подаче переменного напряжения в силовую цепь устройства от трансформатора T1 в первый полупериод входного напряжения ток течет в прямом направлении через оптотиристор VS1. Угол отпирания оптотиристора α_1 задается регулировочным резистором R1 в блоке управления оптотиристорами. Во второй полупериод входного напряжения оптотиристор 1 заперт, ток течет через оптотиристор 2. Угол отпирания оптотиристора 2 α_2 задается соответствующим регулировочным резистором R2 в блоке управления оптотиристорами. График зависимости получаемого асимметричного переменного напряжения от времени приведен на рис. 2. Изменяя угол отпирания оптотиристоров α_1 и α_2 можно получать асимметричный переменный ток с амплитудой анодных и катодных импульсов напряжения, изменяемой независимо друг от друга от $U = 0$, до $U = U_{max}$, и шириной (продолжительностью) анодных и катодных

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

213-3

20-22 октября 2022 года

импульсов от $\Delta t = 0$ до $\Delta t = T/2$ (где T – период исходного переменного тока). Для контроля тока и напряжения на ванне к установке подключали двухлучевой осциллограф С 101.

$U, \text{ В}$

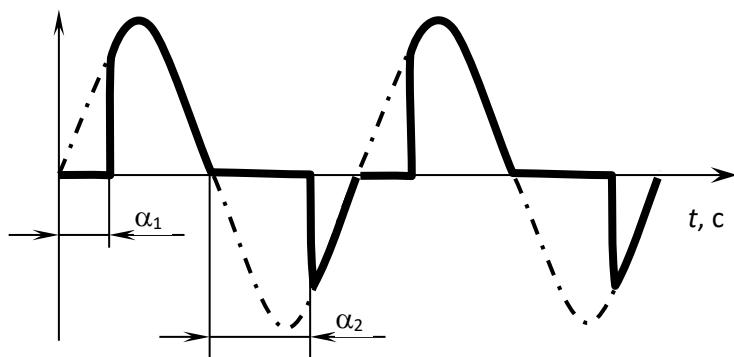


Рис.2 – Асимметричный переменный ток с заданной шириной и амплитудой анодных и катодных импульсов

Процесс оксидирования проводили при постоянной плотности тока равной 5 А/дм^2 , которую поддерживали, повышая в ручном режиме напряжение по мере роста толщины покрытия начиная с нескольких вольт до 450 В. Состав электролита включал: натриевое жидкое стекло – 15 г/л, гидроксид калия – 2,5 г/л. Покрытия наносили на пластинки из алюминиевого сплава АД1. Пористость покрытий определяли путем подсчета числа пор на выбранном участке микрофотографии покрытия. Микротвердость покрытий измеряли по стандартной методике на приборе ПМТ-3 при нагрузке 2 Н. Энергозатраты измеряли с помощью ваттметра АСМ-8003. Были испытаны следующие токовые режимы:

- симметричный переменный ток частоты 50 Гц;
- двухполупериодный выпрямленный ток частоты 50 Гц;
- асимметричный переменный ток с отношением анодной и катодной составляющих $I_k/I_a = 0,75; 0,5; 0,25$.

Свойства оксидно-керамических покрытий, полученных с использованием различных токовых режимов приведены в таблице.

Таблица 1

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

213-4

20-22 октября 2022 года

Свойства оксидно-керамических покрытий

Ток	Толщина, мкм	Микро-твёрдость, ГПа	Пористость, см ⁻²	Энергозатраты, кВт·ч·м ⁻²
Переменный	39	9,1	30	91,28
Двухполупериодный	31	8,2	34	99,67
Асимметричный с отношением $I_k/I_a = 0,75$;	40-42	9,5	22-25	88,25
$I_k/I_a = 0,5$;	40-42	9,8	22-25	86,51
$I_k/I_a = 0,25$	40-42	9,8	22-25	82,44

Из полученных данных видно, что при проведении МДО с использованием ассиметричного тока при отношении анодной и катодной составляющих $I_k/I_a = 0,25$ энергопотребление оказалось наименьшее. Микротвердость и пористость покрытий, полученных при различных отношениях анодной и катодной составляющих примерно одинаковы.

Таким образом используя ассиметричный переменный ток с различным отношением анодной и катодной составляющих I_k/I_a можно в значительной степени снизить энергопотребление при проведении процесса МДО деталей из алюминиевых сплавов без ухудшения свойств получаемых оксидно-керамических покрытий.

Список литературы

1. Суминов, И.В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Парфенов, Е.В. Электролитно-плазменная обработка: моделирование, диагностика, управление / Е.В. Парфенов, Р.Р. Невьянцева, С.А. Горбатков, А.Л. Ерохин. – 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.
4. Рыбалко, А.В. О возможности снижения энергозатрат процесса микродугового оксидирования / А.В. Рыбалко, О. Сахин, А.А. Месяц, Б.Л. Крит // Металлообработка. – 2010, № 1. – С. 28-33.
5. Тихоненко, В.В. Метод микродугового оксидирования / В.В. Тихоненко, А.М. Шкилько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012, № 2/13. – С. 13-18.