

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 Polytechnic University

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16

FEATURES MICRO-ARC OXIDATION PROCESS OF THE ALUMINUM ALLOY D16

Исследуются особенности микродугового разряда при микродуговом оксидировании алюминиевого сплава Д16. Показаны стадии формирования микродуг на поверхности образца при работе с регулируемым конденсаторным источником питания на переменном токе частотой 50 Гц с помощью высокоскоростной видеосъемки.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, переменный ток, регулируемый конденсаторный источник питания, тиристорный источник питания, высокоскоростная съемка, алюминиевый сплав Д16, катодный и анодный режимы.

This article analyzes the features of micro-arc oxidation (MAO) process on the sample surface of the aluminum alloy D16. Displaying microarcs behavior on the sample surface when working with adjustable capacitor power supply for AC 50 Hz with high-speed video.

Keywords: microarc oxidation, AC current, adjustable capacitor power supply, thyristor power supply, high-speed shooting, aluminum alloy D16, cathode and anode modes.

Алюминий и алюминиевые сплавы находят все более широкое применение в машиностроении, в частности в авиа- и приборостроении, благодаря своему малому удельному весу и высокой коррозионной стойкости. Однако ряд недостатков алюминия, таких как малая прочность, повышенная пластичность, высокая химическая активность, ограничивают применение данного материала [1].

Для улучшения характеристик алюминиевых сплавов используются различные виды поверхностного упрочнения. Наиболее эффективным является метод микродугового оксидирования (МДО) поверхности алюминиевых деталей. Данный метод позволяет получить керамикоподобное покрытие с высокими механическими свойствами – твердостью и износостойкостью, а так-

же высокой стойкостью в химически активных средах. Толщина такого покрытия может достигать 300–600 мкм [2, 3].

Микродуговое оксидирование представляет собой электрохимический процесс, протекающий на поверхности алюминиевых деталей, помещенных в среду электролита. Электролитом, как правило, является водный раствор щелочей или солей натрия, калия и других элементов. Для активации процесса МДО на деталь и ванну с электролитом подается напряжение выше 600 В. Ток протекает через систему образец – электролит – ванна [4].

В качестве источников питания процесса микродугового оксидирования чаще всего используются конденсаторные или тиристорные электрические модули с возможностью регулировки мощности, работающие от промышленной сети переменного напряжения. Регулировка мощности в первом случае производится путем подключения блоков конденсаторов. Данная регулировка происходит посредством изменения емкости общего количества конденсаторных батарей и изменения реактивного сопротивления по закону Ома

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC},$$

где X_c – реактивное сопротивление, Ом; f – частота электрического тока, Гц; C – емкость конденсатора, мкФ.

Принципиальная схема источника питания представлена на рис. 1.

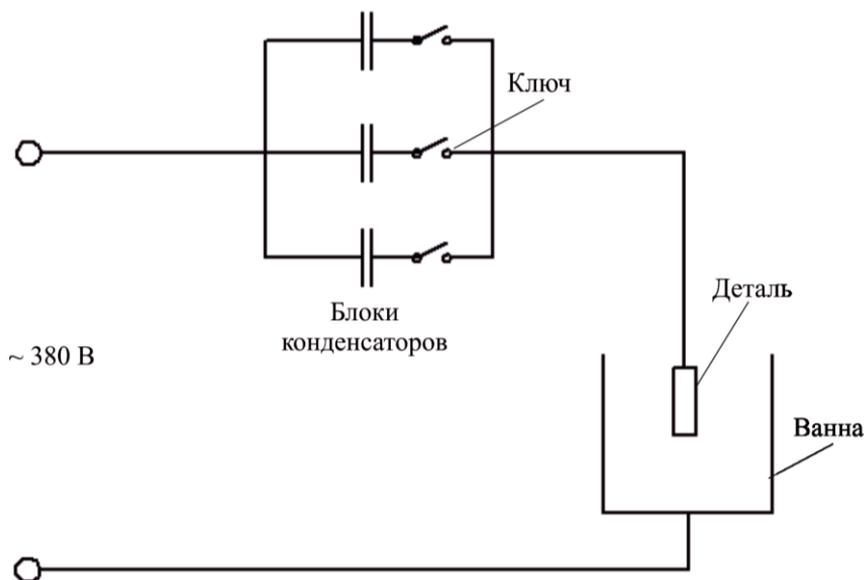


Рис. 1. Принципиальная схема конденсаторного источника питания для МДО

Тиристорные источники питания для процесса МДО технически выполнены сложнее, имеют электронную систему управления, меньшие размеры и позволяют проводить оксидирование на более высоких токах. Регулировка тока производится посредством изменения времени открытия тиристора в периоде протекания электрического тока. Особенностью указанных источников питания для МДО является возможность проведения процесса на переменном токе, подаваемом в систему образец – ванна. Частота тока равна промышленной частоте 50 Гц [5].

Известно, что характер формирования покрытия при МДО на постоянном токе в катодном и анодном режимах различен. Считается, что в катодном режиме микродугового оксидирования, т.е. когда деталь является катодом, температура и размеры микродуг на поверхности образца выше, чем в анодном режиме [6]. Сочетание анодного и катодного режимов при МДО на переменном токе позволяет получить практически беспористый слой корунда Al_2O_3 на границе с металлом-основой и рыхлый пористый слой у поверхности оксидного слоя.

Для более подробного изучения динамики процесса возникновения дуговых разрядов при МДО алюминиевого сплава была использована камера Fujifilm SL1000, позволяющая проводить съемку со скоростью 480 кадров в секунду с разрешением кадра 320×240 точек.

В качестве образца был использован диск диаметром 70 мм из материала Д16, помещенный в электролит. Состав электролита: КОН – 4 г/л, Na_2SiO_3 – 3 г/л. Раствор – дистиллированная вода.

Электрические параметры: напряжение между образцом и электродом $U_{OE} = 450$ В, плотность тока $I = 10$ А/дм².

Одним из электродов являлся образец, второй был помещен в электролит на расстоянии 15 мм от образца.

Съемка начиналась с 10-й минуты от начала процесса МДО, затем делалась более подробная раскадровка стадий процесса. На рис. 2 зафиксирована стадия микродугового оксидирования на 10-й минуте процесса.

После разделения видеозаписи на отдельные кадры удалось увидеть полный цикл образования микродуг на поверхности за один период переменного тока (1 Гц). С учетом частоты съемки кадров и частоты переменного тока (50 Гц), на один полный период тока приходится около 10 кадров (9,61).

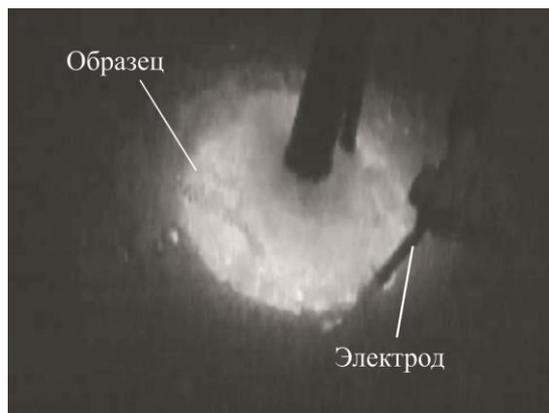


Рис. 2. Процесс микродугового оксидирования

На рис. 3 показано наложение кадровой разбивки на циклограмму напряжения при микродуговом оксидировании за один период переменного тока.

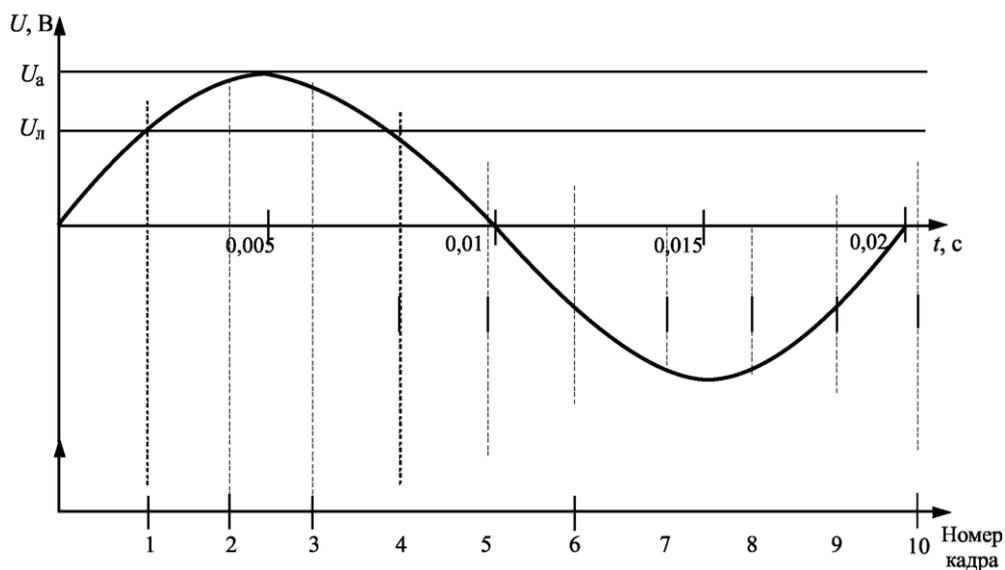


Рис. 3. Циклограмма напряжения и кадровая разбивка за один период при видеосъемке процесса микродугового оксидирования; U_a – амплитудное значение напряжения; U_n – линейное напряжение сети

Приведенные на рис. 4 кадры показывают последовательно фазы формирования и горения микродуговых разрядов на поверхности образца при протекании переменного тока через образец и электрод, помещенные в электролит.

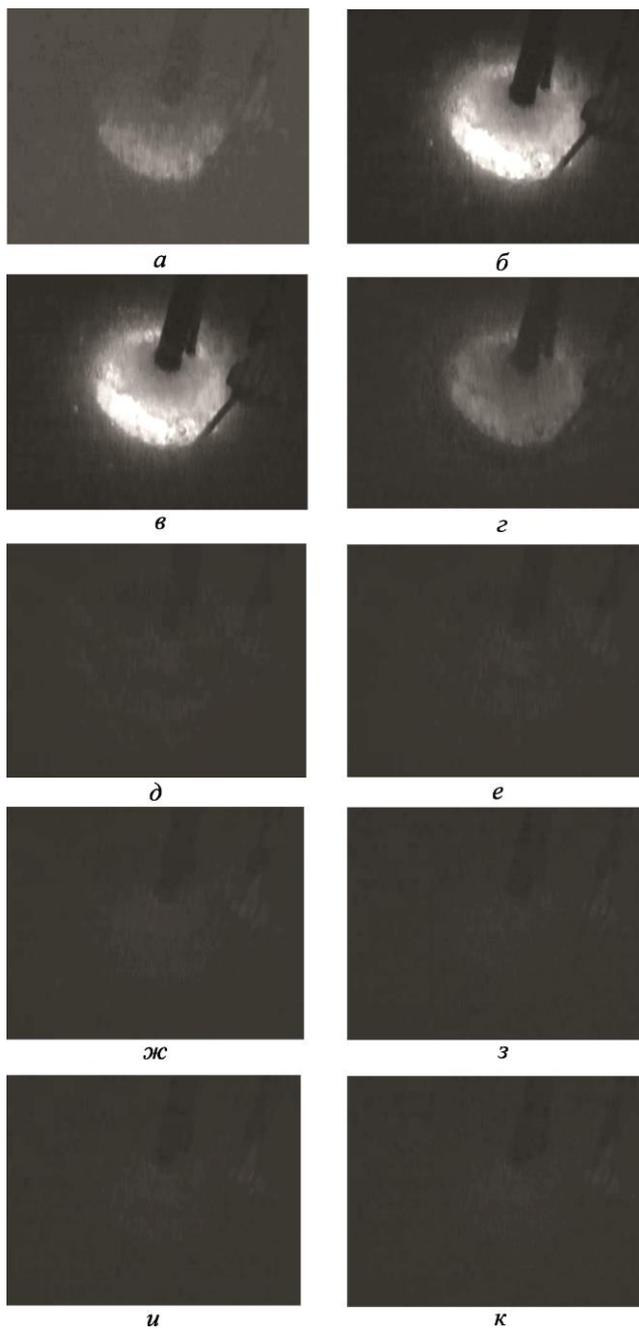


Рис. 4. Формирование и горение микродуговых разрядов:
а – кадр 1, время в одном периоде переменного тока,
 $t = 0,0021$ с; *б* – кадр 2, $t = 0,0042$ с; *в* – кадр 3, $t = 0,0063$ с; *г* – кадр 4,
 $t = 0,0084$ с; *д* – кадр 5, $t = 0,0105$ с; *е* – кадр 6, $t = 0,0126$ с; *ж* – кадр 7,
 $t = 0,0147$ с; *з* – кадр 8, $t = 0,0168$ с; *и* – кадр 9, $t = 0,0189$ с; *к* – кадр 10,
 $t = 0,0210$ с

Можно выделить следующие особенности протекания микродугового оксидирования:

– процесс МДО происходит с плавным образованием и угасанием микродуг на поверхности образца, причем возникновение микродуг происходит на стороне, приближенной к электроду (рис. 4, а), а угасание – плавно на всей поверхности образца;

– микродути возникают и гаснут пропорционально повышению (рис. 4, б, в) и уменьшению (рис. 4, г) значения напряжения;

– максимум свечения микродуг, а значит, и максимум температуры, достигается, когда напряжение между образцом и электродом (U_{OE}) близко к амплитудному значению (см. рис. 4, б, в);

– в течение обратного полупериода протекания тока, когда образец является анодом, дугообразование ничтожно мало или вообще отсутствует (рис. 4, д–к).

Полученные в процессе съемки кадры показывают, что при катодном режиме (первый полупериод переменного тока) на поверхности образуется яркое свечение микродуг, а при анодном режиме (второй полупериод переменного тока) свечения либо нет, либо оно крайне незначительно, что говорит о низкой температуре вблизи поверхности образца и об отсутствии явного процесса возникновения микродуг на поверхности.

Еще одной особенностью процесса является очень короткое время существования микродуговых разрядов на поверхности алюминиевого образца. Фактически за один период протекания переменного тока микродуговые разряды на поверхности существуют примерно $t = 0,002$ с (см. рис. 4, б, в), при полном времени периода $t_n = 0,02$ с, т.е. около 10–20 % времени.

Проведение процесса МДО при использовании тиристорного источника питания может отличаться от процесса при использовании конденсаторного источника питания за счет резкого возникновения электрического потенциала на электроде и образце, однако в данном процессе по-прежнему будут присутствовать потери энергии на электролиз за счет затухающего характера (синусоиды) протекания электрического тока.

Сделаем следующие выводы:

1. С помощью высокоскоростной съемки был изучен процесс микродугового оксидирования алюминиевого образца Д16, зафиксированы различные стадии процесса при протекании электрического тока в системе образец – электролит – электрод и выявлены особенности процесса при работе от конденсаторного источника питания.

Анализ полученных данных показал, что при проведении МДО на переменном токе промышленной сети (в форме синусоиды) происходят большие потери электрической энергии на нагрев электролита при электролизе, а фак-

тическое время существования микродуг на поверхности образца не превышает 10–20 % длительности всего процесса МДО.

Список литературы

1. Кривоносова Е.А., Горчаков А.И., Щербаков Ю.В. Структура и свойства покрытий при микродуговом оксидировании // Сварочное производство. – 2013. – № 10. – С. 27–31.
2. Горчаков А.И., Кривоносова Е.А. К вопросу образования пор в покрытиях при микродуговом оксидировании // Тяжелое машиностроение. – 2008. – № 7. – С. 26–29.
3. Krivonosova E., Gorchakov A. Micro-arc oxidation as efficient technology of increasing of wear resistance of aluminum alloy // Elektrotechnica&Electronica E+E. – 2013. – № 5, 6. – P. 57–59.
4. Особенности формирования покрытий при микродуговом оксидировании / Е.А. Кривоносова, С.С. Подшивалкин, А.И. Горчаков, Ю.В. Щербаков // Сварка и контроль-2003: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвященной 125-летию изобретения Н.Г. Славяновым электродуговой сварки плавящимся электродом, Пермь, 15–17 мая 2013 г.. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – С. 170–181.
5. Пономарев И.С., Кривоносова Е.А., Горчаков А.И. Влияние режимов оксидирования на микротвердость оксидированных покрытий // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 56–61.
6. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов [и др.] – М.: Экомет, 2005. – 368 с.

Получено 6.02.2014

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: katerinakkkkk@mail.ru).

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

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

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

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