

Структура и свойства оксидных покрытий, полученных высокочастотным микродуговым оксидированием

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Паршутто А.Э., Сорока Е.В.
Белорусский национальный технический университет,

Микродуговое оксидирование (МДО) относится к экологически безопасным процессам, так как позволяет проводить обработку в электролитах с низкой концентрацией неагрессивных компонентов. При этом отсутствует необходимость тщательной предварительной подготовки поверхности перед обработкой. Данный вид обработки относится к электрохимическим процессам и отличается от традиционного анодного оксидирования наличием электрических разрядов на обрабатываемой поверхности, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на структуру и свойства получаемых оксидных покрытий [1]. Кроме того, процесс ведется при более высоких напряжениях – до 1000 В, причем чаще используется не постоянный, а переменный и импульсный токи.

МДО широко используется для нанесения покрытий на многие вентиляльные металлы и их сплавы, широко применяемые в машиностроении. Недостатками традиционных методов МДО являются большая продолжительность обработки (до 180 мин) для формирования оксидных слоев необходимой толщины с требуемыми свойствами и, соответственно, высокие энергетические затраты. В последнее время получают распространение методы МДО с применением высокочастотных импульсных режимов, которые обеспечивают формирование более плотных и однородных оксидных покрытий с возможностью управления структурой и свойствами по сравнению с традиционными режимами, реализуемыми на частоте 50 Гц [2, 3].

Для выполнения исследований метода высокочастотного МДО разработано экспериментальное оборудование, обеспечивающее формирование полностью управляемых по амплитуде, длительности и коэффициенту заполнения разнополярных импульсов амплитудой до 600 В с регулируемой частотой от 0,05 до 2,5 кГц.

В работе исследовалось влияние частоты импульсов на структуру, толщину и шероховатость формируемых покрытий. Для исследования процесса МДО выбирались следующие параметры режимов оксидирования: частота следования импульсов – 50, 500, 1000 и 2500 Гц, коэффициент заполнения – 50 %, амплитудное значение положительных импульсов – 500 В, отрицательных – 50 В. Для исследования использовались плоские образцы с размерами 40x5x1,2 мм, изготовленные из алюминиевого сплава АМг2. Обработка выполнялась в электролите следующего состава: КОН – 2,0 г/л, Na₂SiO₃·5H₂O – 9,5 г/л. Температура электролита поддерживалась в диапазоне 20–25 °С. Продолжительность обработки составляла от 10 до 60 мин.

Измерение шероховатости поверхности образцов до и после обработки производилось профилометром MarSurf PS1. Контроль и запись формы импульсов тока и спектрограмм осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом Owon XDS3000. Микрофотографии поверхности образцов получены с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU с микроанализатором INCA350. Пример осциллограммы процесса высокочастотного импульсного микродугового оксидирования при частоте 500 Гц представлен на рис. 1. В результате обработки при всех исследованных значениях частоты следования импульсов формировался оксидный слой толщиной 33–53 мкм (после продолжительности 60 мин) с твердостью около 950 HV. Применение высокочастотных режимов по сравнению с обработкой на частоте 50 Гц приводит к формированию более плотного оксидного слоя с существенно меньшей пористостью (рис. 2).

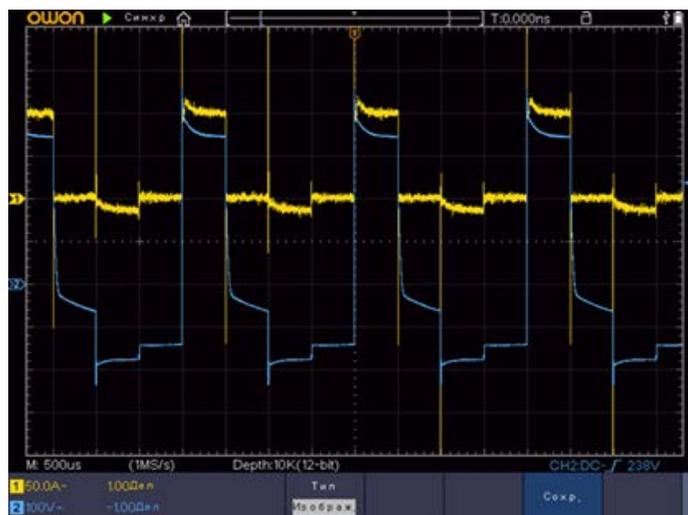


Рисунок 1 - Осциллограмма процесса высокочастотного импульсного микродугового оксидирования при частоте 500 Гц (синяя линия – напряжение, желтая линия – ток)

На рис. 2 представлены изображения поверхности покрытий, полученных при разных частотах с продолжительностью обработки 60 мин. Поверхность, полученная при частоте 50 Гц, представляла собой развитую пористую структуру. При частоте 500 Гц формировалась более сглаженная структура с присутствием кратеров размером преимущественно 19–28 мкм. Поверхность, сформированная при частотах 1000 Гц и 2500 Гц, имела кратерную структуру со значительно большим количеством пор меньшего размера по сравнению с поверхностью, полученной при частоте 500 Гц.

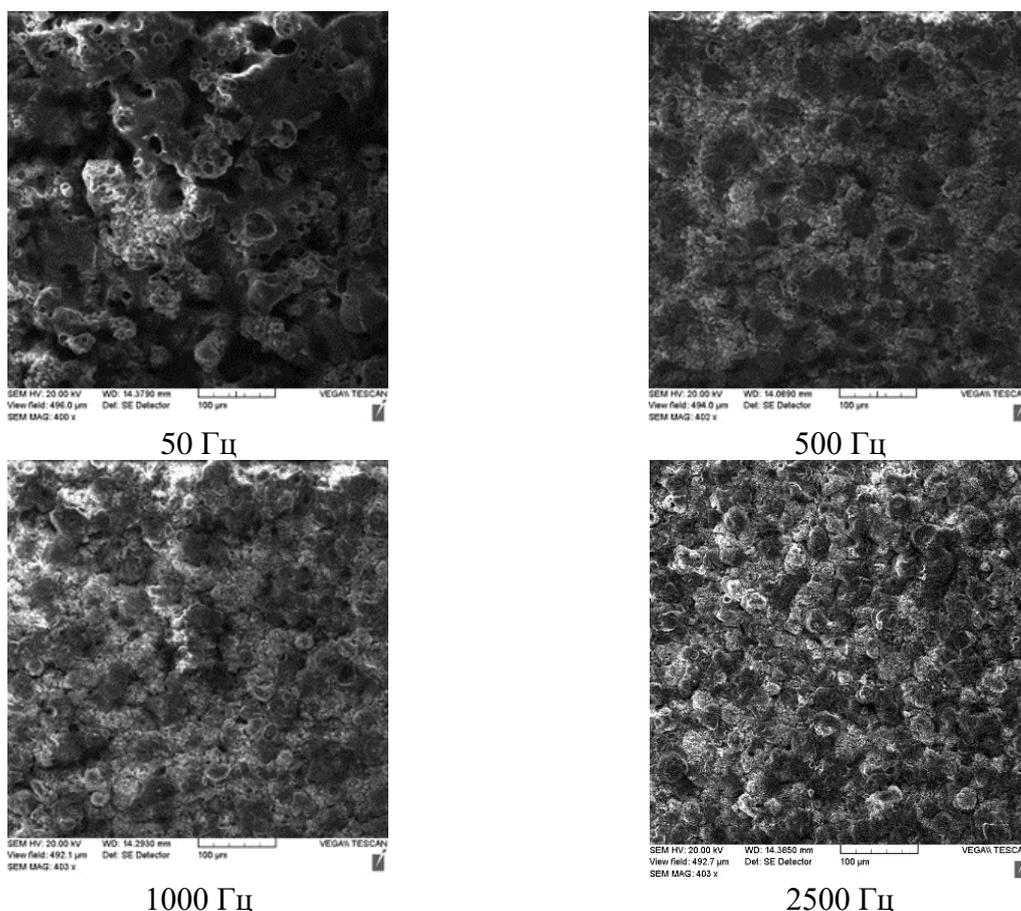


Рисунок 2 - Морфология формируемого оксидного слоя при различных значениях частоты после обработки продолжительностью 60 мин

Формирование кратерной структуры является характерной особенностью процесса МДО, при котором твердый оксидный слой создается за счет того, что расплавленный материал подложки в виде высокотемпературной плазмы вырывается из границы раздела покрытие-подложка, а затем быстро охлаждается и затвердевает при контакте с электролитом [4]. Увеличение количества воздействующих импульсов за счет применения высокочастотных режимов МДО привело к увеличению плотности распределения разрядов по обрабатываемой поверхности и, соответственно, к уменьшению их мощности.

Поверхность с развитой пористой структурой, сформированная при частоте 50 Гц, имела самую высокую шероховатость (рис. 3). В зависимости от продолжительности обработки значение параметра Ra составляло от 5,0 до 8,3 мкм. Применение высокочастотных режимов при всех исследованных значениях частоты позволило существенно повысить качество формируемой поверхности. Значение Ra составило от 2,0 до 3,5 мкм. Причем наиболее качественное покрытие формируется при продолжительности обработки 40–60 мин.

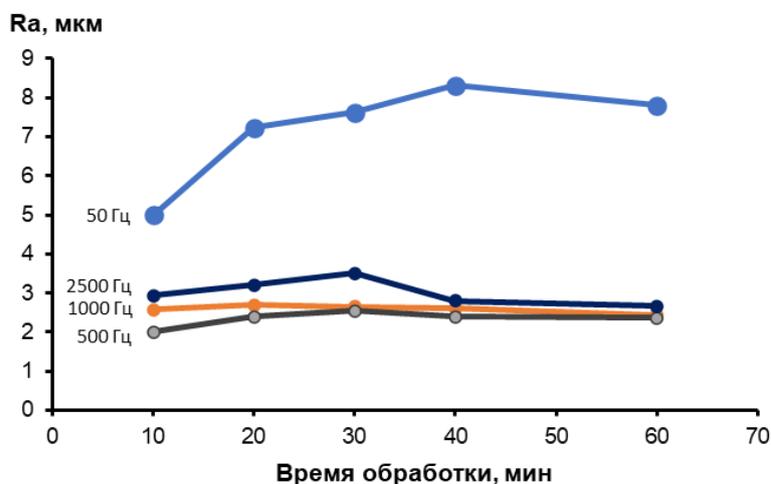


Рисунок 3 - Влияние продолжительности МДО на изменение шероховатости поверхности при различных значениях частоты

Литература

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборуд.)/ И. В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Influence of Applied Frequency on Thermal Physical Properties of Coatings Prepared on Al and AlSi Alloys by Plasma Electrolytic Oxidation [Electronic resource] / G. Li [at al.]. // *Coatings* 2021, 11, 1439.– Mode of access: <https://doi.org/10.3390/coatings11121439>. – Date of access: 25.01.2022
3. Leea, J. H. Influence of Applied Frequency on Microstructural and Electrochemical Characteristics of Ceramic Coating Produced on Al-Mg Alloy by Pulsed Plasma Electrolytic Oxidation / J. H. Leea, S. J. Leeb, S. J. Kimc // 5th International Science Congress & Exhibition APMAS, Lykia, Oludeniz, 16–19 Apr. – 2015.
4. Sundararajan, G. Mechanisms underlying the formation of thick alumina coatings through the MAO coating technology / G. Sundararajan, L. R. Krishna // *Surface and Coatings Technology*, 2003. – Vol. 167, Iss. 2–3. – P. 269–277. – Mode of access: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00918-0](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00918-0). – Date of access: 25.01.2022