

# МОРФОЛОГИЯ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ПОСЛЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

В. С. Нисс<sup>1</sup>, Ю. Г. Алексеев<sup>2</sup>, А. Ю. Королёв<sup>2</sup>,  
А. Э. Паршуто<sup>2</sup>, Е. В. Сорока<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, тел.: +375 (29) 270-18-42, e-mail: niss@park.bntu.by*

<sup>2</sup>*Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»,  
г. Минск, Беларусь, тел./факс: +375 (17) 374-25-98,  
e-mail: korolyov@park.bntu.by*

Для повышения производительности с возможностью управления структурой и свойствами формируемых оксидных слоев предложен метод микродугового оксидирования (МДО), основанный на использовании полностью управляемых по амплитуде и длительности разнополярных импульсов напряжением до 600 В с регулируемой частотой от 50 до 2500 Гц. В работе исследовалось влияние режимов высокочастотного импульсного МДО титана VT1-0 в электролите на основе ортофосфорной кислоты на морфологию формируемого оксидного слоя [1].

В качестве электролита использовался водный раствор  $H_3PO_4$  (1 мас.%). Температура электролита составляла 25 °С. Для обработки использовались образцы из титана VT1-0 с размерами (20 × 5 × 1) мм. Обработка образцов выполнялась в биполярном режиме при длительности импульсов 0,05; 0,2; 0,5; 1,0 и 5,0 мс в форме меандра с коэффициентом заполнения 50 %. Амплитуда импульса положительного напряжения – 400 В, отрицательного напряжения – 50 В. Продолжительность обработки составляла 5 мин. Внешний вид обработанных образцов представлен на рис. 1.

Контроль и запись формы импульсов тока и напряжения осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом Owon XDS3000. Измерение геометрических параметров покрытия (размеры пор) производились с помощью программы JmicroVision 1.3.



Рис. 1. Внешний вид обработанных образцов из титана ВТ1-0

Электронные микрофотографии поверхности образцов при различных значениях длительности импульсов высокочастотного импульсного МДО представлены на рис. 2. Анализ электронных микрофотографий образцов показывает, что на поверхности присутствует пористая структура. Оксидная пленка представляет собой относительно рыхлую структуру со множеством пор и бороздок, размеры и количество которых зависят от длительности импульсов технологического напряжения. Наибольшего размера бороздки достигают при длительности импульсов 0,2–0,5 мс и составляют 50–60 мкм. При длительности импульсов 0,1–0,05 мс они существенно меньше и имеют длину 10–15 мкм.

Установлено, что размер пор уменьшается при снижении длительности импульсов (рис. 3). Покрытия, полученные при длительности импульсов 5 мс, представляют собой достаточно пористую структуру, в то время как при длительности импульсов 0,05–0,2 мс пористость и размеры бороздок существенно меньше. Увеличение длительности импульсов технологического напряжения с 0,05 мкс до 5 мс приводит к росту размера пор с 0,5 мкм до 2,2 мкм соответственно.

Для получения более полной информации о состоянии оксидного слоя в зависимости от длительности импульсов в процессе МДО выполнены измерения шероховатости поверхности. Полученные результаты представлены на графике (рис. 4).

Анализ полученной зависимости показывает существенную нелинейность шероховатости формируемого оксидного слоя от

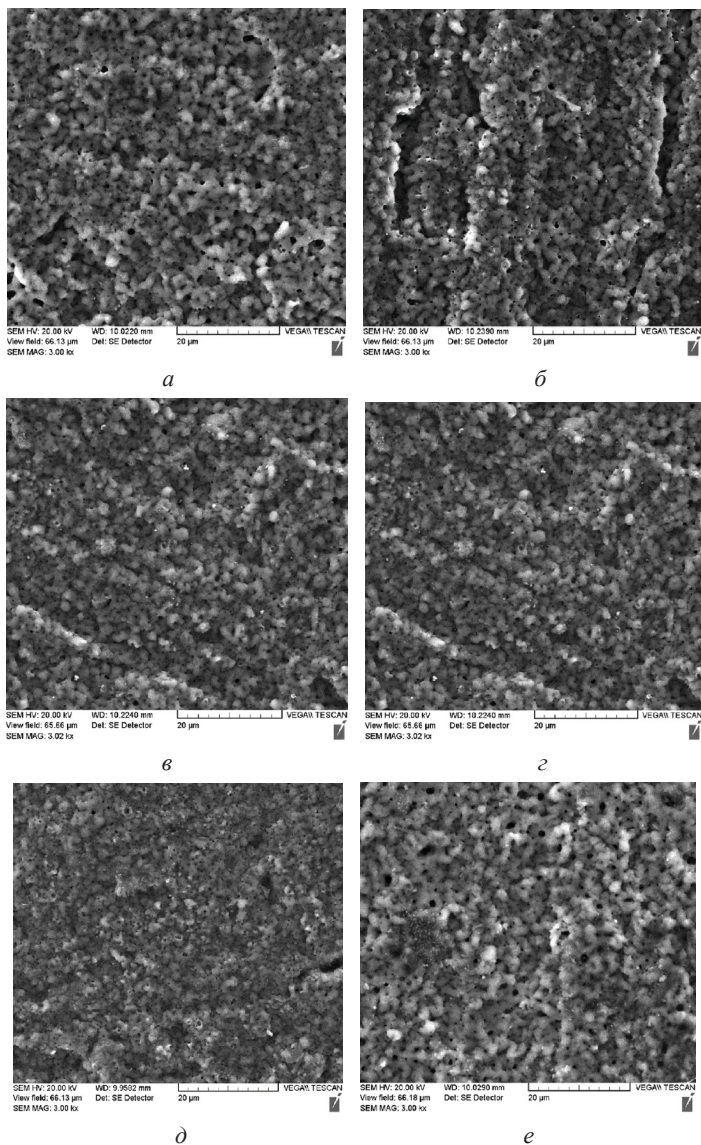


Рис. 2. Электронные микрофотографии поверхности образцов из титана VT1-0 при различных значениях длительности импульсов высокочастотного импульсного МДО, мс: *a* – 1,0; *б* – 0,5; *в* – 0,2; *г* – 0,1; *д* – 0,05; *e* – 5,0

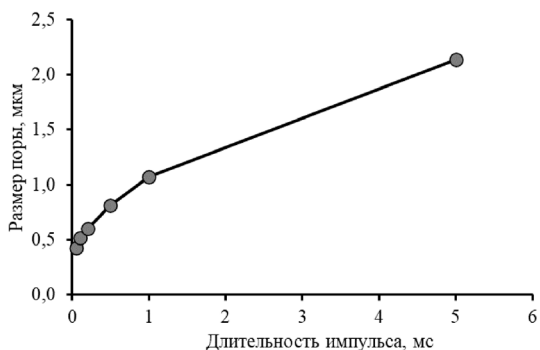


Рис. 3. Изменение размера пор в покрытии МДО в зависимости от длительности импульсов

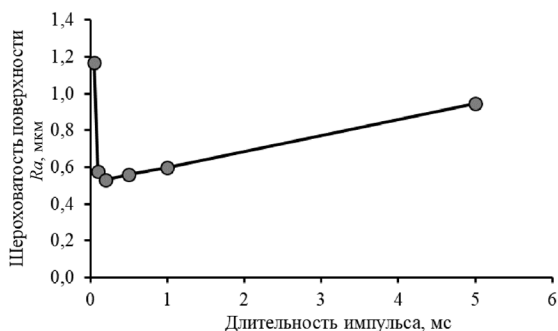


Рис. 4. Зависимость шероховатости поверхности оксидного слоя при различной длительности импульсов технологического напряжения

длительности импульсов. При малой длительности импульса (0,05 мс) происходит формирование неоднородной поверхности с высокой шероховатостью (до 1,2 мкм). Такое состояние оксидного слоя связано, по-видимому, с недостаточным количеством энергии, поставляемой в зону обработки за малый промежуток времени и невозможностью образования относительно ровного покрытия. При большей длительности импульсов (0,1–1,0 мс) шероховатость значительно ниже и составляет 0,5–0,6 мкм. При дальнейшем увеличении длительности импульсов (до 5 мс) шероховатость увеличивается и достигает значения 0,9 мкм.

**Заключение.** По результатам исследования морфологии поверхности образцов из титана VT1-0 в режимах высокочастотного импульсного МДО в электролите на основе ортофосфорной кислоты установлено, что оксидная пленка на поверхности покрытия представляет собой относительно рыхлую структуру со множеством пор и бороздок, размеры и количество которых зависят от длительности импульсов технологического напряжения. Наибольшего размера бороздки достигают при длительности импульсов 0,2–0,5 мс и составляют 50–60 мкм. При длительности импульсов 0,1–0,05 мс они существенно меньше и имеют длину 10–15 мкм.

Шероховатость сформированной оксидной пленки имеет существенную нелинейность от длительности импульсов. При малой длительности импульса (0,05 мс) происходит формирование неоднородной поверхности с высокой шероховатостью (до 1,2 мкм), что связано, по-видимому, с недостаточным количеством энергии, поставляемой в зону обработки за малый промежуток времени и невозможностью образования относительно ровного покрытия. При большей длительности импульсов (0,1–1,0 мс) шероховатость значительно ниже и составляет 0,5–0,6 мкм. При дальнейшем увеличении длительности импульсов (до 5 мс) шероховатость увеличивается и достигает значения 0,9 мкм.

## Литература

1. *Bayati, M. R.* Effect of electrical parameters on morphology, chemical composition, and photoactivity of the nano-porous titania layers synthesized by pulse-microarc oxidation / M. R. Bayati, A. Z. Moshfegh, F. Golestani-Fard // *Electrochimica Acta.* – 2010. – Vol. 55. – P. 2760–2766.