

УДК 51-74

DOI: 10.17223/00213411/62/11/166

*П.Е. ГОЛУБКОВ, Е.А. ПЕЧЕРСКАЯ, Д.В. АРТАМОНОВ, Т.О. ЗИНЧЕНКО, Ю.Е. ГЕРАСИМОВА, Н.В. РОЗЕНБЕРГ***ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ \***

На основе предложенной авторами эквивалентной электрической схемы разработана математическая модель формирования защитных покрытий методом микродугового оксидирования, позволяющая смоделировать формовочную кривую на стадии анодирования. Выведены выражения для поверхностной пористости анодной оксидной пленки и минимального электронного тока, протекающего через поры при ее пробое; рассмотрены условия возникновения парогазовых пузырьков. Показана возможность вычисления доли сформированного кристаллического оксида алюминия в результате фазового перехода с использованием уравнения Колмогорова – Джонсона – Мела – Аврами. Результаты исследования могут быть использованы при разработке обобщенной математической модели процесса микродугового оксидирования.

**Ключевые слова:** микродуговое оксидирование, эквивалентная электрическая схема, математическое моделирование.

**Введение**

Покрытия, получаемые методом микродугового оксидирования (МДО), обладают высокими механическими (микротвердостью, износостойкостью), химическими (коррозионной стойкостью), диэлектрическими (электрической прочностью) и теплотехническими (жаростойкостью) свойствами, что позволяет применить их во многих отраслях промышленности и народного хозяйства [1–3].

Существует ряд теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение процесса МДО: приданию покрытиям новых свойств путем добавления в электролит наночастиц [4–6], поиск новых применений МДО-покрытий [7, 8], улучшение их характеристик [9–12], но самой важной проблемой был и остается вопрос поиска оптимальных параметров процесса МДО [13–19]. Для управления столь сложным многофакторным процессом [20–22] необходимо полное понимание всех аспектов его функционирования, включая электрохимические и плазмохимические реакции, физические закономерности диэлектрического пробоя и существования газового разряда в микропорах, акустические явления при схлопывании и отрыве парогазовых пузырьков, химических процессов, приводящих к обеднению электролита, что делает решение данной проблемы объектом междисциплинарных исследований. Однако большинство известных моделей не учитывают разнородные факторы, присущие процессу МДО [23, 24].

В данной статье изложены модельные представления о механизме процесса МДО на основе эквивалентной электрической схемы, предложенной авторами.

**Математическое описание механизма микродугового оксидирования с использованием эквивалентной электрической схемы**

Как известно, процесс микродугового оксидирования можно разделить на ряд последовательно протекающих стадий [25]:

- анодирование;
- стадии микроразрядов (искровых, микродуговых, дуговых).

Стадию анодирования можно разделить на два этапа, соответствующих формированию барьерного и пористого слоев. Напротив, разделение стадии микроразрядов является в некоторой степени условным, поскольку все типы микроразрядов происходят по одному и тому же механизму, отличаясь друг от друга лишь длиной разрядного промежутка и соответственно выделяемой мощностью [26].

МДО-покрытие можно представить в виде эквивалентной схемы (рис. 1). На этапе формирования барьерного слоя (рис. 1, а) сопротивление покрытия моделируется сопротивлением барьерного слоя  $R_b(t)$ , емкость покрытия – конденсатором  $C_b(t)$ ; на этапе формирования пористого слоя

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-08-00425.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>