

УДК 539.37,54.03

DOI: 10.17223/00213411/62/8/151

*Н.Н. НАЗАРЕНКО<sup>1</sup>, А.Г. КНЯЗЕВА<sup>1,2</sup>, Е.В. ЛЕГОСТАЕВА<sup>1</sup>, Ю.П. ШАРКЕЕВ<sup>1,2</sup>***ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА КАЛЬЦИЙФОСФАТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ТИТАНОВОЙ ПОДЛОЖКЕ: ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ \***

Описаны физические условия получения микродуговых кальцийфосфатных покрытий на титановой подложке, а также экспериментальные результаты исследования морфологии, фазового состава и физико-механических свойств этих покрытий. На основе двухуровневой модели роста покрытия, учитывающей экспериментальные условия метода микродугового окислирования, проанализированы распределения концентраций фаз и механические напряжения в окрестности мезоэчек, а также в покрытии в целом.

**Ключевые слова:** кальцийфосфатное покрытие, микродуговое окислирование, сфера, механические напряжения, модель роста, подвижная граница.

**Введение**

На протяжении последних десятилетий значительные усилия исследователей различных стран были направлены на разработку и исследование биокомпозитов на основе биоинертной металлической основы и биоактивного кальцийфосфатного покрытия, содержащего в своем составе «родные» для костных тканей соединения фосфатов кальция, которые при введении в живой организм не только не оказывают токсического воздействия, но и стимулируют процессы регенерации костной ткани [1, 2].

Наиболее технологичным и популярным методом модификации поверхности металлов и сплавов является метод микродугового окислирования (МДО) в водных растворах электролитов [3]. Формирование покрытия в микродуговом (МД) разряде связано с протеканием высокотемпературных химических процессов в зоне локальных МД-разрядов под воздействием внешнего источника высокого напряжения, за счет чего происходит окисление основного материала и перенос в покрытие ультрадисперсной фазы, находящейся в электролите. Химический состав, структуру и свойства покрытия определяют природа подложки, параметры процесса и состав электролита. В последнее время этот метод получил широкое распространение как метод нанесения биоактивных кальцийфосфатных покрытий, прежде всего, на титан и титановые сплавы.

К настоящему времени опубликовано большое количество статей, посвященных разработке и исследованию покрытий на основе фосфатов кальция, которые показывают, что покрытия, полученные методом МДО на поверхности титана, обладают хорошим спектром физико-химических свойств [4–6]. Тем не менее, несмотря на прогресс, достигнутый в разработке кальцийфосфатных покрытий, имеются нерешенные вопросы. Мало исследованы факторы, определяющие морфологию покрытий, фазовый состав, их физико-химические и механические свойства.

В этом аспекте перспективным и широко используемым подходом является моделирование процессов, которые невозможно наблюдать явно: формирование структуры, перераспределение элементов, образование новых соединений и фаз. Моделирование позволяет выявить новые качественные закономерности и проверить гипотезы о преобладании тех или иных физических механизмов в динамике роста покрытия.

Многоуровневые модели формирования материалов привлекают все большее внимание исследователей в различных областях физики, химии и механики. Можно выделить несколько основных групп моделей, учитывающих процессы на разных структурных уровнях. В механике получили распространение модели, учитывающие «вложенность» процессов за счет введения дополнительных или внутренних параметров (см., например, [7, 8]). Это приводит к разработке особого математического аппарата [9]. Модели, рассмотренные в [10], скорее можно отнести к прямому численному моделированию формирования структурно-неоднородных сред безотносительно к конкретным экспериментальным условиям. Методы молекулярной динамики при принятии опре-

\* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг., направление III.23.

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>