

ности металлических изделий методом ИЛПО с изменением химического состава поверхности рекомендуется использовать средний диапазон энерговклада (определяемый для различных материалов экспериментально или с помощью соответствующих математических моделей) и частоту следования импульсов излучения до 3–8 Гц.

Л и т е р а т у р а

1. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск : Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
3. Криштал, М. Л. Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера / М. Л. Криштал, А. А. Жуков, А. Н. Кокора. – М. : Metallurgia, 1973. – 192 с.
4. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов : справочник / Н. Н. Рыкалин [и др.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
5. Леонтьев, П. А. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов / П. А. Леонтьев, Н. Г. Чеканова, М. Г. Хан. – М. : Metallurgia, 1986. – 142 с.

УДК 541.124:542.952.6:547.313

**ВЛИЯНИЕ ВНЕДРЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИОКСИДА  
ТИТАНА НА АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НИКЕЛЬ–ОЛОВО**

**О. П. Бачко, А. В. Пянко, П. Б. Кубрак,  
О. А. Алисиенок, А. А. Черник**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», г. Минск*

Перспективным направлением в исследованиях является разработка и исследование материалов с исключительными физическими, химическими и функциональными свойствами. Потребность в улучшенных эксплуатационных характеристиках материалов приводит к разработке новых нанокomпозиционных покрытий. К таким покрытиям относятся антибактериальные покрытия, которые эффективно убивают бактерии на металлических поверхностях без необходимости ультрафиолетового излучения.

Для антибактериальных покрытий повышенные износостойкость и коррозионная стойкость являются ключевыми требованиями. Таким образом, цель работы заключалась в разработке состава электролита для формирования электрохимических антибактериальных покрытий и исследовании свойств осаждаемых покрытий. Высокая эффективность уничтожения бактерий требует высокого содержания серебра или меди в составе покрытий, что приводит к сильному снижению его твердости и, следовательно, его защитной способности. В связи с этим в качестве объекта исследования был выбран сплав олово–никель с внедрением наноразмерного диоксида титана [1]–[4].

Наноразмерный диоксид титана обладает способностью поглощать видимый свет, антибактериальными свойствами, имеет повышенную фотокаталитическую активность [3]. В связи с этим был разработан технологический процесс, позволяющий получать композиционное электрохимическое покрытие на основе сплава никель–олово, содержащее 65 % олова и 35 % никеля, с включением наночастиц золя  $\text{TiO}_2$  менее 1 %.

Исследовано влияние температуры осаждения и рН фторид-хлоридного электролита электрохимического формирования покрытия никель–олово–диоксид титана

на ход поляризационных кривых электрохимического осаждения и структуру осаждаемых покрытий. Установлено, что присутствие наноразмерного диоксида титана неоднозначно влияет на ход поляризационных кривых. Они смещаются в более электроотрицательную сторону, при этом угол наклона поляризационных кривых не изменяется.

Включение наноразмерного диоксида в состав покрытия приводит к незначительному снижению выхода по току электроосаждения покрытия никель–олово (1–2 %).

Исследовано влияние температуры на электрохимическое осаждение покрытия никель–олово–наноразмерного диоксида титана. При превышении допустимого температурного диапазона (60–70 °С) наблюдается подгар покрытий, а при повышении рН электролита (выше 3,5) наноразмерный диоксид титана значительно хуже растворяется в электролите, что влечет за собой образование матовых, неравномерных покрытий. Структура покрытия представлена на рис. 1.



а)

б)

в)

Рис. 1. СЭМ покрытия:

а – никель–олово; б, в – никель–олово–наноразмерный диоксид титана

Из рис. 1, б–в следует, что внедрение наноразмерного диоксида титана в состав покрытия приводит к образованию сфероидных структур диаметром 10–15 мкм в составе покрытия. Структура покрытий является плотной, без трещин и сколов.

Исследовано влияние методов синтеза наноразмерного диоксида титана на антибактериальность и качество осажденных покрытий. Внедрение наноразмерного диоксида титана в структуру покрытия позволяет получить равномерные, беспористые покрытия, которые прочно сцеплены с металлической подложкой и обладают рядом улучшенных физико-механических и химических свойств. Экспериментально установлено, что внедрение наноразмерного диоксида титана позволяет улучшить адгезию покрытия, микротвердость, коррозионную стойкость, гидрофобность покрытий.

Антибактериальная активность осажденных покрытий изучалась на двух штаммах бактерий: грамм-отрицательных (*Escherichia coli*) и грамм-положительных (*Staphylococcus aureus*). Антибактериальная активность покрытия по отношению к бактериям *St. Aureus* достигает около 90 %, а по отношению к *Staphylococcus aureus* – около 75 %.

Изучено влияние времени экспозиции в УФ-излучении на выживаемость бактерицидных клеток, подобрана оптимальная методика исследования металлических покрытий на бактерицидные свойства. При увеличении времени экспозиции антибактериальная активность образцов увеличивается, что, возможно, связано с высокой фотокаталитической активностью диоксида титана.

Таким образом, в ходе исследований был подобран оптимальный состав электролита, технологический режим процесса электрохимического осаждения композиционного покрытия никель–олово–наноразмерный диоксид титана, а также физико-химические и механические свойства, исследованы биоцидные свойства металлического покрытия.

В настоящее время эти покрытия могут быть осаждены на металлические поверхности как жестких, так и гибких подложек, например, в больницах, транспортных средствах (самолеты, автобусы, поезда и трамваи), кассовых и билетных автоматах, мебели в ресторанах, театрах, школах и других объектах. Электрохимическое покрытие никель–олово–наноразмерный диоксид титана может эффективно предотвращать перенос бактерий с металлических поверхностей к людям.

#### Литература

1. Lačnjevac, U. Č. Electrodeposition and characterization of Ni–Sn alloy coatings as cathode material for hydrogen evolution reaction in alkaline solutions / U. Č. Lačnjevac, V. D. Jović, B. M. Jović // *Zaštita materijala*. – 2011. – Vol. 52. – P. 153–158.
2. Synthesis and thermoanalytical study of SiO<sub>2</sub>–TiO<sub>2</sub> composites modified with macrocyclic endoreceptors / A. N. Murashkevich [et al.] // *Inorganic Materials*. – 2016. – Т. 52, № 3. – P. 294–300.
3. Композиционное покрытие олово–никель–диоксид титана / А. В. Пянко [и др.] // *Неорганические материалы*. – 2019. – Т. 55, № 6. – С. 609–616.
4. Пянко, А. В. Электрохимическое осаждение сплава олово–никель с внедрением наноразмерного диоксида титана / А. В. Пянко, А. А. Черник, О. А. Алисиенок // *Современные электрохимические технологии и оборудование – 2019 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2019.* – С. 320–322.

УДК 621.7.014

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ СПЛАВА СИСТЕМЫ CU–NI–P–SN–PB–MN–ZN ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ СТРУИ РАСПЛАВА ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ НА ПОВЕРХНОСТЬ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА**

**М. Н. Верещагин, И. В. Агунович, Р. А. Судаков**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Развитие машиностроения и других отраслей промышленности требует разработки материалов с определенным комплексом физико-химических, механических и функциональных свойств. Производство изделий методами порошковой металлургии обладает большим потенциалом за счет возможности простого регулирования структуры материала как основного фактора, определяющего свойства изделия. Одним из новых методов получения порошковых материалов с улучшенными физико-механическими свойствами является метод быстрой закалки металла из жидкого состояния при диспергировании его газом–энергоносителем, имеющим поступательно-вращательно-колебательное движение [1].

На практике наиболее часто реализуется распыление струи поступательно движущимся газовым потоком. Схеме распыления расплава с одновременным использованием поступательного, вращательного и колебательного компонентов энергии газа с учетом ее потенциальной энергоемкости уделяется недостаточное внимание.