

А.Ю. Бровин, канд. техн. наук; А.И. Фесенко, асп.;  
А.В. Гончаренко, магистрант; В.В. Дыман, магистрант  
НТУ "ХПИ" г. Харьков

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КАТАФОРЕТИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ГИДРОКСИАПАТИТА НА ТИТАН**

Известно, что искусственно созданный аналог неорганической составляющей костной и зубной тканей, гидроксиапатит (ГА)  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  способен ускорять остеогенез и восстанавливать поврежденную кость, не вызывая негативных реакций со стороны иммунной системы [1,2]. Такие свойства гидроксиапатита находят применение в технологии изготовления металлических имплантов. При этом гидроксиапатитные покрытия, как правило, наносятся на поверхность несущей основы, изготовленной из сплавов титана.

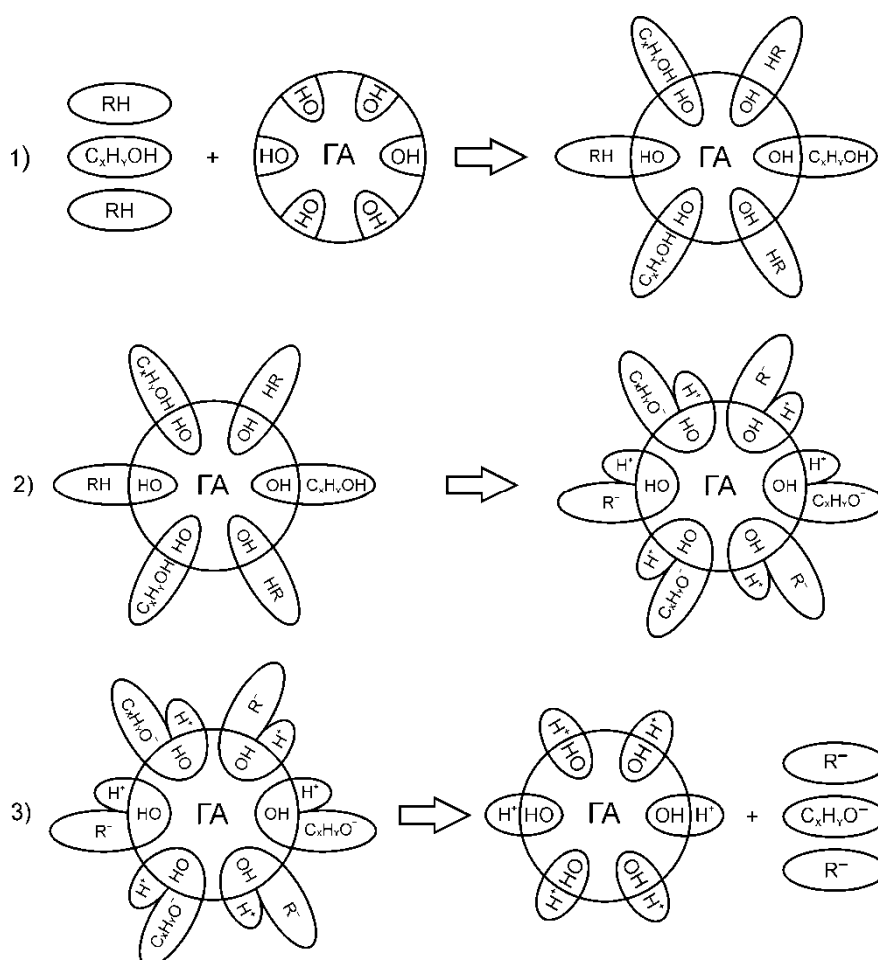
Большая часть предложенных способов получения гидроксиапатитных покрытий имеют существенные недостатки: золь-гель, электролитическое и плазменное осаждение не обеспечивают хорошую воспроизводимость фазового и элементного состава, его однородность. Также актуальна проблема загрязнения покрытий компонентами растворов и слабой адгезии, которая обусловлена загрязнением подложек [2].

Существующие способы катафоретического нанесения дисперсного гидроксиапатита на титановую основу из водных электролитов обеспечивают осаждение покрытий на металлические поверхности сложного профиля. Однако равномерность таких осадков и скорость осаждения не всегда удовлетворительны. В представленной работе для нанесения покрытий использованы гетерогенные системы на основе низших алканов, а для интенсификации электрофоретического процесса предложено использование добавки, обладающей протондонорными свойствами.

Известно, что спирты в присутствии оснований ведут себя как слабые кислоты и проявляют протондонорные свойства. Таким образом, они могут диссоциировать с образованием протона и алкоксид-аниона. Частицы гидроксиапатита по своей природе являются основаниями и в среде низших алканов адсорбируют на своей поверхности недиссоциированные молекулы спирта. Адсорбированные молекулы диссоциируют с образованием протона и алкоксид-аниона. Затем происходит десорбция алкоксид-аниона и поверхность частицы гидроксиапатита получает положительный заряд [3]. Схема вероятного ме-

ханизма процесса заряджания поверхности приведена в работе [4]. Косвенным доказательством такого механизма является тот факт, что свежеприготовленная гетерогенная система гидроксиапатит-алкан не позволяет вести осаждение с достаточной для практического применения скоростью. Это объясняется замедленностью описанных выше химических и адсорбционных процессов. Для образования достаточного количества заряженных частиц необходима определенная выдержка системы.

Вероятный механизм процесса в присутствии активной протон-донорной добавки приведен на рис.1.



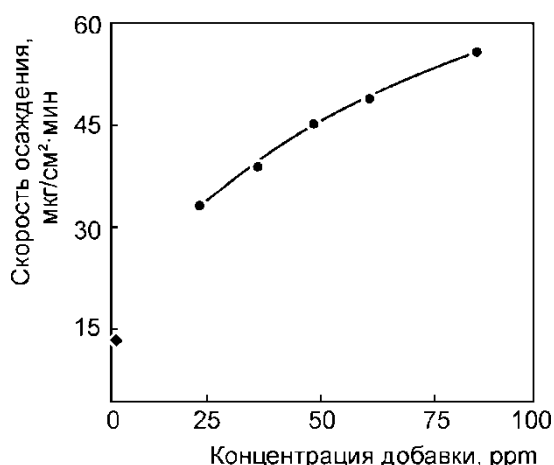
**Рисунок 1 – Схема вероятного механизма процесса заряджания поверхности частиц гидроксиапатита в присутствии протондонорной добавки**

На первом этапе молекула добавки адсорбируется на участке частицы гидроксиапатита, который имеет основные свойства. На втором этапе происходит диссоциация молекулы, на третьем анион десорбируется, а протон остается, обеспечивая положительный заряд поверхности. За счет более высокой степени диссоциации добавки

процесс образования заряженных частиц гидроксиапатита значительно ускоряется. Также было обнаружено значительное влияние концентрации добавки на скорость электрофоретического процесса. Целью настоящей работы была количественная оценка этого влияния.

Дисперсный гидроксиапатит получали по методике, описанной в [2]. Конечный размер частиц в электролите не превышал 20 мкм. Процесс катафоретического осаждения проводился при напряженности электрического поля 45-50 В/см. Дальнейшее повышение этого параметра ускоряет процесс, но негативно сказывается на равномерности покрытия [4]. Катодная плотность тока составляла от 0,20 до 0,25 мА/см<sup>2</sup>, температура поддерживалась в пределах от 293 до 295К. В качестве электролита использовалась суспензия с содержанием твердой фазы гидроксиапатита в количестве 12 г/дм<sup>3</sup>.

Была получена зависимость скорости электрофоретического процесса от концентрации протондонорной добавки (рис. 2).



**Рисунок 2 – Зависимость скорости катафоретического осаждения гидроксиапатита от концентрации протондонорной добавки**

Анализ полученных данных свидетельствует, что даже небольшие количества протондонорной добавки более чем в два раза ускоряют процесс осаждения. Увеличение концентрации от 25 до 85 ppm дополнительно увеличивает скорость катафореза на 60-70%, однако дальнейшее повышение концентрации начинает сказываться на однородности и равномерности полученных покрытий на образцах имплантов сложной геометрической формы. Уже при величинах концентрации добавки близких к 100 ppm покрытие становится рыхлым и наблюдается его неравномерность на резьбах. Характер неравномерности заключался в том, что на витках резьбы осаждалось избыточное количество покрытия, тогда как на заглубленных участках покрытие имело недостаточную толщину или отсутствовало вовсе.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для получения равномерных покрытий на образцах имплантатов сложной формы целесообразно использовать протондонорную добавку в концентрации 60-80 ppm. В результате экспериментов на металлической основе (сплав Ti-6Al-4V, также известный как BT-6) были получены равномерные осадки гидроксиапатита, которые затем были подвергнуты обжигу и оплавлению в атмосфере инертного газа. Полученное сплошное покрытие обладает отличной адгезией к основе и представляет собой кристаллическую фазу состава Ca/P  $\approx$  1,67.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sam Zhang. Hydroxyapatite Coatings for Biomedical Applications. Series: Advances in Materials Science and Engineering. CRC Press, 2013. 463 p.

2. Синтез нанокристаллических пленок гидроксиапатита / В.М. Иевлев, Э.П. Домашевская, В.А. Терехов, В.М. Кашкаров, В.М. Вахтель, Ю.Д. Третьяков, В.И. Путляев, С.М. Баринов, В.В. Смирнов, Е.К. Белоногов, А.В. Костюченко // Конденсированные среды межфазные границы. – 2007. – Т.9. – №3. – С. 209-215.

3. Zude FENG, Qishen SU, Zuochen LI. Electrophoretic Deposition of Hydroxyapatite Coating. JMaterSciTechnol, 2003, 19(01): p. 30-32.

4. А.Ю. Бровин, А.И. Фесенко, В.И. Тычина. Нанесение гидроксиапатита на сплавы титана катафоретическим методом // Современные электрохимические технологии и оборудование: материалы докладов Международной научно-технической конференции, 24–25 ноября 2016 г. – Минск: БГТУ, 2016. – С.282-285

УДК 621.793

Б.И. Байрачный, проф., д-р техн. наук  
Ю.А. Желавская, научн. сотр, канд. техн. наук  
Н.А. Руденко, аспирант, А.М. Финогенов, студ.  
НТУ"ХПИ", Харьков

#### **КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОСАЖДЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ СПЛАВАМИ НИКЕЛЬ-ВАНАДИЙ И НИКЕЛЬ-ВОЛЬФРАМ**

Сплавы никеля с вольфрамом и ванадием обладают высокой стойкостью к износу и каталитической активностью. Они с успехом используются вместо хромовых покрытий, осаждение которых имеет высокую экологическую опасность [1, 2]. Они также имеют высокую каталитическую активность при использовании в электросинтезе во-