

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОИНЕРТНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗРЫВНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ti-Ta ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТОВ

Соснин К.В., Романов Д.А., Громов В.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
Россия, k.sosnin@mail.ru*

Современные тенденции в области нанесения биопокрытий на поверхность металлических имплантатов заключаются в поиске оптимального набора параметров покрытий, обеспечивающего наибольшую механическую и биологическую совместимость или инертность с костной тканью.

В настоящее время активно развивается подход получения композиционных покрытий с применением перспективной и технологичной методики электровзрывного напыления, позволяющей формировать композиционные покрытия с различной структурой. Варьируя электрофизические параметры электровзрывного напыления и изменяя материал обрабатываемого изделия, можно управлять свойствами, структурой и составом формируемых покрытий. В настоящем исследовании реализован новый подход, заключающийся в синтезе биоинертных электровзрывных покрытий систем Ti-Ta, свойства которых отвечают эксплуатационным требованиям, на поверхности экономичных медицинских имплантатов. Электровзрывные покрытия обладают уникальным комплексом физико-химических и биологических свойств.

Получение биоинертных покрытий системы Ti-Ta реализовано при помощи перспективной методики электровзрывного напыления. Выбраны такие режимы электровзрывного напыления, которые позволят получить минимальную степень шероховатости их поверхности, гомогенизацию и наноструктурирование, повысить износостойкость и получить модуль упругости, сопоставимый с костной тканью человека. Наноструктурирование (размер кристаллитов до 100 нм) поверхностного слоя толщиной в десятки микрометров осуществляется в условиях импульсного переплавления поверхности титановых имплантатов и покрытия с последующим высокоскоростным охлаждением путем отвода тепла в объем интегрально холодного образца - имплантата. Биоинертные покрытия выбранных системы Ti-Nb нанесены на титановые имплантаты (сплав ВТ1-0) методом электровзрывного напыления на электровзрывной установке ЭВУ 60/10М (Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк) с использованием титановой фольги (сплав ВТ1-0), а также порошка ниобия с размером частиц 0,1...1,0 мкм. Биоинертные покрытия нанесены в условиях, когда поверхность облучения испытывает оплавление и перемешивание материала имплантата с компонентами многофазной плазменной струи, сформированной из продуктов электрического взрыва фольг и частиц порошковых навесок. Рассматриваемый подход получения биоинертных покрытий является экологически чистым (все процессы протекают в вакуумной камере установки), новым и будет реализован благодаря использованию перспективной методики электровзрывного напыления, позволяющей формировать покрытия с различной структурой. Исследование физической природы и свойств биоинертных покрытий будет на современном оборудовании. Успешное решение сформулированной в проекте фундаментальной задачи требует использования междисциплинарного подхода.

Фундаментальная новизна обусловлена разработкой комплекса физико-математических моделей различных процессов, протекающих при формировании и эксплуатации покрытий. Успешное решение сформулированной в проекте фундаментальной задачи требует использования междисциплинарного подхода. В настоящем исследовании решены следующие основные задачи.

1. В рамках математического моделирования на основе решения граничных задач для системы уравнений Навье-Стокса установлены критические значения параметров напыления, обеспечивающих формирование структуры биоинертных покрытий системы Ti-Ta. Создана математическая модель сформированных биоинертных покрытий системы Ti-Ta в условиях эксплуатации титановых имплантатов в костной ткани.

2. С позиций физики плазмы и электрофизики, опираясь на результаты математического моделирования, проведена оптимизация режимов работы используемой в проекте электрофизической установки, генерирующей потоки плазмы с параметрами, обеспечивающими термокинетические условия для получения биоинертных покрытий системы Ti-Ta с регламентированной структурой.

3. В рамках физического материаловедения выявлены и проанализированы закономерности электровзрывного напыления биоинертных покрытий системы Ti-Ta, проведены исследования структурно-фазовых состояний покрытий, формирующихся в широком интервале значений параметров внешнего воздействия (поглощаемой плотности мощности и состава напыляемого покрытия). Методами металлографии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа проведены исследования фазового и элементного состава, дефектной субструктуры покрытий и переходного слоя между покрытиями и имплантатом.

4. С позиций механики деформируемого твердого тела проведен комплексный анализ физико-механических и трибологических свойств композиционных покрытий (микро- и нанотвердость, модуль Юнга, коэффициент трения, износостойкость в условиях сухого трения), обоснованы критерии выбора практически значимых композиций на основе системы металлов Ti-Ta и оптимизированы режимы электровзрывного напыления.

По результатам выполнения междисциплинарного проекта теоретически и экспериментально выявлены закономерности и вскрыта физическая природа формирования эксплуатационных свойств биоинертных покрытий системы Ti-Ta методом электровзрывного напыления, а также разработаны рекомендации по практическому использованию полученных результатов. Титановые имплантаты с покрытиями систем Ti-Ta испытаны в условиях медицинской клиники.

Полученные покрытия имеют низкий модуль упругости, сопоставимый с костной тканью ~ 15-30 ГПа, что позволит успешно эксплуатировать имплантат длительное время. Кроме того покрытие имеет физико-механические свойства, существенно (в 3–5 раз) превышающие соответствующие свойства материала основы и размытую границу раздела с ней. Последнее определяет полную совместимость покрытия с материалом имплантата и обеспечивает его высокую стойкость к внешнему воздействию. До настоящего времени в мировой литературе отсутствовали сведения о методах и подходах к формированию биоинертных покрытий системы Ti-Ta методом электровзрывного напыления, данные об их структурно-фазовых состояниях и реализуемых свойствах. Следовательно, предлагаемые в проекте методы и подходы являлись оригинальными, а полученные результаты новыми, не имеющими отечественных и мировых аналогов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-3766.2019.2.