

Д. В. Минько

ПОРОШКОВОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ
ИМПУЛЬСНЫМИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ
МЕТОДАМИ

Минск
БНТУ
2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Влияние состояния поверхности на биомеханические свойства титановых имплантатов	9
1.1. Свойства титана и титановых сплавов	9
1.2. Биомедицинское применение титана и титановых сплавов	12
1.2.1. Замещение костных тканей и эндопротезирование	13
1.2.2. Применение в кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии	19
1.2.3. Применение в травматологии и ортопедии	20
1.3. Структура и свойства поверхности титана и титановых сплавов	21
1.3.1. Поверхностные заряды на поверхности гидратированного оксида титана	24
1.3.2. Коррозионная стойкость	24
1.3.3. Механические свойства	25
1.3.4. Биологические свойства	27
1.4. Цель модифицирования поверхности титана и титановых сплавов	28
2. Химические технологии модифицирования поверхности титана и титановых сплавов	37
2.1. Химическая обработка	37
2.2. Золь-гель процесс	42
2.3. Анодное оксидирование	46
2.4. Химическое осаждение из газовой фазы	51
2.5. Биохимическое модифицирование	54
3. Механические и физические технологии модифицирования поверхности титана и титановых сплавов	58
3.1. Механические технологии модифицирования	59
3.2. Физические технологии модифицирования	67
3.2.1. Газотермическое напыление	67
3.2.2. Физическое осаждение из газовой фазы	77
3.2.3. Обработка плазмой тлеющего разряда	81
3.2.4. Ионная имплантация и осаждение	83
3.2.5. Импульсное лазерное осаждение	90
3.2.6. Формирование пористых порошковых покрытий	91

3.3. Требования к порошковым модифицирующим покрытиям титановых имплантатов	96
4. Импульсные электрофизические методы порошкового модифицирования поверхности титановых имплантатов.....	108
4.1. Электроимпульсные методы порошкового модифицирования	112
4.2. Импульсные лучевые и плазменные методы порошкового модифицирования	122
5. Исследование параметров порошкового модифицирования поверхности титановых имплантатов импульсными электрофизическими методами.....	134
5.1. Исследование закономерностей формирования структуры и свойств порошковых материалов и покрытий при ЭИС	134
5.1.1. Исследование кинетики образования и роста контактов между частицами порошка при ЭИС.....	134
5.1.2. Исследование технологических параметров и свойств порошковых материалов и покрытий при ЭИС.....	141
5.1.3. Исследование анизотропии свойств пористых порошковых материалов и покрытий при ЭИС	143
5.1.4. Исследование прочности и структурных характеристик слоистых и полидисперсных пористых порошковых покрытий	146
5.2. Исследование закономерностей формирования структуры и свойств пористых порошковых материалов и покрытий при дополнительном электроразрядном упрочнении.....	149
5.2.1. Электроразрядное упрочнение пористых порошковых материалов после ЭИС.....	151
5.2.2. Электроразрядное упрочнение пористых порошковых материалов после спекания в вакууме	154
5.3. Исследование закономерностей формирования структуры и свойств порошковых материалов и покрытий при селективном лазерном спекании	160
5.3.1. Исследование кинетики образования и роста контактов между частицами порошка при импульсном лазерном воздействии	162

5.3.2. Исследование технологических параметров и свойств порошковых материалов и покрытий при селективном лазерном спекании	168
5.3.3. Исследование микроструктуры порошковых материалов и покрытий при селективном лазерном спекании	176
5.3.4. Исследования физических и биомеханических свойств порошковой модифицированной поверхности титана	182
6. Разработка технологий порошкового модифицирования поверхности титановых имплантатов и практическое применение результатов исследований.....	190
6.1. Разработка титановых имплантатов с порошковой модифицированной поверхностью	191
6.1.1. Дентальные имплантаты	194
6.1.2. Минипластины для остеосинтеза костей лицевого скелета	202
6.1.3. Индивидуальные имплантаты для протезирования нижней челюсти	206
6.1.4. Имплантаты для межтелового спондилодеза шейного отдела позвоночника	209
6.1.5. Пористые контактные головки эндокардиального электрода кардиостимулятора	213
6.2. Перспективы дальнейших исследований и разработок в области порошкового модифицирования титановых имплантатов	216
6.2.1. Получение фрактального микрорельефа на модифицированной поверхности контактных головок эндокардиального электрода кардиостимулятора	219
6.2.2. Технология послойного импульсного лазерного спекания порошка титана с адаптивным управлением	224
6.2.3. Технология импульсного лазерного осаждения наноразмерных частиц титана	228
Заключение	233
Список использованных источников	236