

## РЕФЕРАТ

Отчет 181 с., 2 кн., 84 рис., 46 табл., 162 источн.

МАГНИЙ, ТИТАН, ИМПЛАНТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОРРОЗИЯ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ, БИОДЕГРАДАЦИЯ, БИОПОЛИМЕРЫ, ФОСФАТИРОВАНИЕ, ХИТОЗАН, МИКРОСТРУКТУРА, ПОЛИЛАКТИД, ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, АДГЕЗИЯ, СМАЧИВАНИЕ, ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА, БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА

Объектом исследования в данной работе являются сплавы титана и биоразлагаемые сплавы магния, а также сформированные на их поверхности композиционные и конверсионные биосовместимые покрытия.

Цель исследования – разработка биологических имплантационных материалов на основе сплавов титана и биоразлагаемых сплавов магния с улучшенными антикоррозионными и бактерицидными свойствами.

Проведен анализ научно-технической и патентной информации в области синтеза на поверхности сплавов титана и магния композиционных и конверсионных покрытий, модифицированных биосовместимыми компонентами, с требуемым уровнем защитных, физико-механических и бактерицидных свойств.

Разработаны способы получения на сплавах титана и биоразлагаемых сплавах магния биосовместимых покрытий, установлены зависимости физико-механических и бактерицидных свойств, а также *in vitro* коррозионной устойчивости сформированных покрытий в биологических средах (раствор Хэнка, имитирующий среду костной ткани; раствор «искусственная слюна»; подкисленный раствор Хэнка, имитирующий травмированное состояние костной ткани, рН 5) от их состава и условий получения (параметров оксидирования и электролиза, состава электролита и др.).

Разработаны лабораторные технологии получения на титане марки ВТ1-0 модифицированных биосовместимыми компонентами композиционных покрытий с улучшенными антикоррозионными свойствами, защитных биосовместимых композиционных покрытий на основе модифицированного соединениями церия хитозана, а также анодного электроосаждения композиционных покрытий хитозан-AgNPs с улучшенными антибактериальными свойствами.

Полученные результаты могут быть использованы в машино- и авиастроении, а также в медицине при разработке конструкционных и имплантационных материалов на основе сплавов титана и магния с улучшенными физико-механическими и антикоррозионными и биоцидными свойствами.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время металлические биосовместимые имплантаты широко используются в травматологии, ортопедической и сердечно-сосудистой хирургии. Например, в России число пациентов, нуждающихся в операциях по восстановлению целостности кости, составляет более 1 млн. человек ежегодно. В зависимости от целей применения, различают биоразлагаемые и неразлагаемые металлические имплантаты.

Биоразлагаемые материалы преимущественно используются для выравнивания и фиксации кости при переломах, остеотомии, артродезах и полностью деградируют в организме в течение определенного времени в зависимости от области применения. Их применение не требует повторного хирургического вмешательства по удалению имплантата. Основными требованиями, предъявляемыми к биodeградируемым имплантатам, являются биосовместимость, малый вес, механическая прочность, меньшая скорость коррозии по сравнению с процессом ремоделирования кости. В качестве перспективного материала для этих целей считаются сплавы магния, которые характеризуются низкой плотностью, высокими значениями удельной прочности и жесткости, способностью противостоять ударной нагрузке, биобезопасностью, и механическими свойствами, близкими со свойствами нативной кости. Однако, несмотря на огромный потенциал магния и его сплавов в качестве биоразлагаемых имплантов, быстрая и неоднородная деградация в физиологических средах, сопровождающаяся образованием локальных дефектов и неконтролируемым чрезмерным выделением водорода, препятствующем восстановлению костной ткани, ограничивает использование этих материалов. В связи с этим, актуальным является проведение исследований по разработке условий получения модифицированных биосовместимыми компонентами образцов сплавов магния, обеспечивающих улучшенную коррозионную стойкость в различных физиологических средах.

Для повышения коррозионной устойчивости магния и его сплавов проводят их лазерную [1, 2], электролитно-плазменную [1, 3] и химическую обработку поверхности, а также наносят покрытия на основе биосовместимых материалов [4–7]. Метод химического нанесения конверсионных покрытий является наиболее простым и доступным способом получения защитных покрытий на сплавах магния. Химическим способом на поверхности магния и его сплавов могут быть получены конверсионные покрытия на основе биосовместимых фосфатов магния, кальция и цинка. Использование биополимеров в качестве функциональных покрытий на магниевых имплантатах является перспективным направлением в области создания биосовместимых материалов с антибактериальными свойствами. Например, хитозан является природным полисахаридом, обладающим высокой биосовместимостью, а также ранозаживляющими и антибактериальными свойствами. Покрытия на основе хитозана замедляют коррозию нержавеющей сталей, титановых и магниевых сплавов в фи-

биологических средах. Для получения покрытий на основе хитозана как правило использует физические и электрические способы осаждения. Для улучшения функциональных свойств хитозановые пленки дополнительно армируются различными материалами. Модификация хитозана частицами углеродных наноматериалов, а также оксидами переходных металлов позволяет улучшить физико-механические и антикоррозионные свойства формируемых покрытий. Модификация хитозановой матрицы частицами биостекла и гидроксипатита позволяет существенно повышать биосовместимость покрытий, а также их антикоррозионные свойства.

В современной медицине для получения неразлагаемых имплантатов широко применяются титан и его сплавы благодаря таким свойствам, как биосовместимость, высокая трещиностойкость, усталостная прочность, коррозионная стойкость, удельная прочность и относительно невысокий модуль упругости, а также низкая токсичность. Однако поверхность титана характеризуется низкой биоактивностью и остеоинтеграцией, что приводит к низкой скорости роста новой костной ткани [8–10].

Одним из способов повышения биоактивности и обеспечения прочного соединения костной ткани с имплантатом является нанесение на его поверхность кальций-фосфатных покрытий, которые имеют высокое биологическое сродство к кости [11]. Для получения таких покрытий используют различные физические и химические методы [12, 13]: плазменное напыление, ионно-лучевое испарение, импульсное лазерное напыление и магнетронное распыление, химическое осаждение из паровой фазы, золь-гель метод, электрофорез, анодирование и плазменно-электролитическое оксидирование (ПЭО).

Несмотря на достаточно широкое применение в современной медицине имплантатов на основе титана и его сплавов по-прежнему актуальной является проблема модификации его поверхности с целью повышения антикоррозионных и механических свойств, биологической активности, а также интенсификации процесса остеоинтеграции [8, 9]. Также недостаточно изученными остаются вопросы коррозии титана в физиологических средах организма. Следует отметить, что в настоящее время нет общепринятой теории, описывающей механизм протекания плазменно-электролитического оксидирования ввиду того, что формирование покрытия происходит при одновременном протекании электрохимических, химических и термических реакций, также существенное влияние оказывают природа подложки и электролита, электрофизические параметры процесса и др. В связи с этим представляет интерес изучение влияния перечисленных факторов на защитные свойства формируемых на титане покрытий, их фазовый состав и пористость, которые в свою очередь будут отвечать за биосовместимость и остеоиндуктивность имплантата.

Таким образом, задача разработки способов модификации поверхности существующих сплавов с оптимальным сочетанием биомедицинских свойств, прочности, пластичности и программируемой скоростью деградации в настоящее время полностью не решена.

В связи с этим актуальным является проведение исследований по разработке способов и условий получения модифицированных биобезопасными компонентами сплавов титана и магния, обеспечивающих улучшенную коррозионную стойкость в основных физиологических средах; изучению кинетических особенностей и механизмов коррозии, а также установлению зависимостей структуры, физико-механических и коррозионных свойств биосовместимых модифицированных покрытий на титановых и магниевых сплавах от их химического состава и способов модификации поверхности.