

Сведения о ходе выполнения проекта в 2022 году
«Создание комплексной технологии получения и исследование структуры и свойств биорезорбируемых имплантов нового поколения для регенерации костных тканей»

Руководитель проекта: Марченко Екатерина Сергеевна, канд. физ.-мат. наук

Научные (научно-технические) результаты, полученные по направлению научного исследования за второй отчетный период

Получателем гранта: Проведен синтез покрытий на основе нитрида титана разной толщины, нанесенный магнетронным распылением, в атмосфере азота на поверхности магниевых сплавов; получены данные о режиме синтеза покрытия на поверхности магниевого сплава в атмосфере азота: парциальное давление; температура нагрева подложки для инициирования реакционного синтеза покрытий TiXNy разной толщины, рабочая скорость и время напыления титана; получены экспериментальные данные об элементном и фазовом составе покрытий методами XRD, SEM, EDS, HRTEM, STEM, SAED, EBSD, AFM; описаны все типичные структурные, морфологические особенности, микрорельеф, фазовый состав покрытий; определены напряжения внутри кристаллических структур, преимущественное направление роста, степень кристалличности, сплошность поверхностных нанослоев, нанозернистость структуры в покрытиях разной толщины; определены значения толщины диффузионной зоны, наличие или отсутствие разрывов покрытий разной толщины и подложки; получены данные о смачиваемости поверхности синтезированных покрытий в различных тестовых жидкостях, значения свободной поверхностной энергии; получены топографические карты и карты распределения поверхностного потенциала, данные о шероховатости, морфологии, текстуре и поляризации поверхности синтезированных покрытий; получены данные о нанотвердости покрытий разной толщины, сформированных на поверхности магниевых сплавов; выбрана эффективная толщина покрытий на основе нитрида титана на поверхности магниевых сплавов для направленного регулирования скорости резорбции и остеогенеза, обладающих улучшенными биосовместимыми и физико-механическими свойствами; представлены научно-технологические основы получения биорезорбируемых имплантов из магниевых сплавов, модифицированных наночастицами алмаза и покрытием из нитрида титана, с заданными физико-механическими свойствами, регулируемой скоростью резорбции и высокой биосовместимостью.

Иностранном партнером: Получены результаты *in vitro* исследований по гемолизу эритроцитов и пролиферации эпителиальных и мезенхимальных стромальных клеток на магниевых сплавах с покрытиями разной толщины, определены значения индекса гемолиза эритроцитов, коэффициент жизнеспособности клеточных линий; проведена аттестация внешнего вида клеток на стадии адгезии и пролиферации на поверхности магниевых сплавов с покрытиями разной толщины; получены данные о влиянии толщины биоинертных

покрытий с определенной структурой и фазовым составом на скорость и характер деградации магниевых сплавов в сыворотке крови крупного рогатого скота и PBS-растворе.

Основные научные результаты по проекту и перспективы их использования

На втором этапе выполнения Проекта разработаны научные основы и технологические режимы нанесения покрытий нитрида титана методом магнетронного распыления на поверхность сплавов Mg-Ca-Zn. Все исследуемые образцы имеют фазовый состав подложки из ГЦК-Mg и вторичных фаз $Mg_6Ca_2Zn_3$. Синтезированные покрытия являются однофазными TiN со средним размером зерен до 50 нм. Покрытие толщиной 0,5 мкм распределено по поверхности магниевого сплава неоднородно, обнаружены области в виде микротрещин. Такая структура имеет большую склонность к питтинговой коррозии. Тонкие покрытия TiN толщиной 1 мкм и 3 мкм однородно покрывают поверхность без пустот на границе раздела «покрытие TiN - подложка MgCaZn» и имеют плотную бездефектную нанокристаллическую структуру. Образцы с нанокристаллическим покрытием из нитрида титана толщиной 3 мкм демонстрируют медленную равномерную коррозию в течение первых трех недель без значительной потери формы и массы, что отвечает минимальным требованиям к биодеградируемым имплантатам. Адгезионные свойства слоя нитрида титана значительно возрастают на 50 % с увеличением толщины слоя TiN от 1 до 3 мкм. Сам процесс разрушения покрытия характеризуется отсутствием растрескивания, что говорит о высоких прочностных и пластических свойствах исследуемого покрытия. Покрытие TiN толщиной 1 мкм повышает микротвёрдость сплава Mg-CaZn на 100 % и составляет около 130 HV. *In vitro* исследования биосовместимости магниевых сплавов позволили установить, что образцы сплава Ca-Mg-Zn с покрытием TiN толщиной 1 и 3 мкм, продемонстрировали наилучшие показатели биосовместимости, низкую скорость биодеградации, высокий коэффициент жизнеспособности клеточных линий и допустимый процент индекса гемолиза эритроцитов. Наиболее перспективным для применения в качестве имплантационного биорезорбируемого материала следует признать сплав Ca-Mg-Zn с покрытием TiN толщиной 3 мкм, удовлетворяющий технико-биологическим требованиям, предъявляемым к медицинским материалам.