

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах
в 2024 году

по проекту «**Эффект стабилизации мартенсита в имплантируемых
конструкциях на основе тонких нитей TiNi при криогенном воздействии в
медицинских приложениях**»,

поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 24-29-00735

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Артюхова Надежда Викторовна

В ходе реализации проекта выполнены все работы и получены запланированные научные результаты, которые позволили определить оптимальный материал для использования в качестве имплантируемой конструкции с реализацией эффекта стабилизации мартенситной фазы. Установлено, что сплав марки ТН-20 обладает необходимым фазовым составом после криогенной обработки, а также необходимым концентрационным соотношением, чтобы после охлаждения испытывать эффект памяти формы. В ходе реализации проекта получены экспериментальные образцы тонких нитей TiNi диаметром 60 мкм трех различных марок ХЭ, ТН-10, ТН-20 и изготовлены на их основе волокнистые сферические имплантируемые конструкции. Установлено, что полученные образцы тонких нитей различных марок в процессе многократных промежуточных отжигов изменяют соотношение Ti и Ni в соединении TiNi. Характерной особенностью полученных материалов, установленной методом энергодисперсионного микроанализа стало постепенное обеднение металлической матрицы TiNi по Ti за счет процессов сегрегации Ti на свободные поверхности и образования оксидной пленки TiO₂ на поверхности проволочного материала. Таким образом при получении тонких нитей на основе никелида титана происходит эволюция фазового состава в сторону увеличения доли аустенита и снижения мартенситной фазы, что так же оказывает влияние на эффект стабилизации мартенситной фазы. Образцы тонких нитей на основе марок ХЭ и ТН-10 имели однофазный состав на основе аустенитной фазы TiNi(B2), таким образом, эти материалы имели высокотемпературное состояние. Низкотемпературные образцы сплава ТН-20 при достижении диаметра 60 мкм также приобретают однофазный состав.

Совместное рассмотрение и анализ данных EDX и карт распределения элементов позволяет судить о качественном фазовом составе полученных материалов и о расположении фаз во внутренней структуре. Основной фазой, занимающей большую часть внутреннего объема проволоки, является фаза TiNi. Увеличенный фрагмент поперечного сечения проволоки демонстрирует, что на периферии образца расположен массивный слой, переменной толщины, на основе оксида титана TiO₂. Под ним расположен подслой, обогащенный по никелю – TiNi₃ толщиной около 0,2 мкм. Его образование связано с сегрегацией титана на свободную поверхность (периферию проволоки) в процессе термообработок в циклах волочения и с

последующим обогащением по Ni подповерхностных. В объеме матрицы расположены мелкодисперсные частицы размером до 500 нм. Из EDX анализа по составу фаз и карт распределения элементов можно сделать предположение, что это частицы фазы TiC.

Подготовлены модельные образцы мягких биологических тканей с имплантируемыми волокнистыми конструкциями на основе тонких нитей TiNi. Полученные сферические имплантируемые конструкции имеют пористо-проницаемое строение с коэффициентом пористости 80-85 %. Анализ снимков структуры сферических имплантатов, полученных методом растровой электронной микроскопии, показал высокую интеграционную связь имплантатов с тканями организма животных. Установлено, что попытки провести криогенную обработку сферических образцов с модельными мягкими тканями не позволили достичь нужного эффекта стабилизации мартенситной фазы. Показано, что при обработке исходного материала на основе тонких нитей диаметром 60 мкм марки сплава ТН-20 удается снижать модуль Юнга на 10 ГПа. Волокнистые сферические конструкции на основе тонких нитей марки ТН-20 имели оптимальные структурные характеристики для выполнения криогенной обработки. Охлаждение до температур $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводило к получению материала с максимальной остаточной модой деформации. После нагрева до $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ менялся фазовый состав и реализуется эффект памяти формы. Дальнейший нагрев до высоких температур позволял восстановить форму до 4,8 мм при диаметре исходного образца 5 мм.

В рамках реализации проекта представлено 3 доклада на конференциях международного уровня. Принята в печать статья «Structural features of thin TiNi wires and fiber implantable structures», в журнал «Russian Physics Journal», индексируемый Web of Science и Scopus.