ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/274

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО СИНТЕЗА
ПОВЕРХНОСТНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА С НАНОКОМПОЗИТНОЙ И
АМОРФНОЙ СТРУКТУРОЙ**

^{1,2}Мейснер Л.Л.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*

²*НИИ Томский государственный университет, Томск, Россия*

Как известно, проявление материалом необычных или уникальных свойств связано с особенностями его внутренней структуры. Многочисленными исследованиями показано, что нанокристаллические, аморфные или смешанные, аморфно-нанокристаллические, структуры играют доминирующую роль в изменении и эффективном улучшении различных свойств материалов. Учитывая тесную взаимосвязь между внутренней структурой и функциональными свойствами сплавов на основе никелида титана, яркого представителя из группы «умных материалов» с памятью формы, в докладе особое внимание уделено исследованиям внутренней, аморфно-наноконструктивной структуры поверхностных сплавов на основе титана и тантала, синтезированных на подложках из никелида титана с вариацией составов, толщины и режимов синтеза. Подведен итог и сформулированы теоретически и экспериментально обоснованные принципы электронно-пучкового синтеза поверхностных трехкомпонентных Ti-Ta-Ni сплавов с наноконструктивной и аморфной структурой.

Показано, что поверхностные сплавы, толщиной 1-2 мкм, сформированные путем 10-30 кратного повторения единичного цикла синтеза – осаждения пленки состава $\text{Ta}_{60-70}\text{Ti}_{40-30}$ (ат.%) толщиной 50-100 нм на TiNi подложку и с последующим 5-кратным электронно-пучковым плавлением и перемешиванием с TiNi подложкой – имеет градиентную по химическому составу, многослойную аморфно-наноконструктивную структуру. Каждый из подслоев отличается фазовым составом, структурным состоянием, физико-механическими и биохимическими свойствами. Переходная зона между поверхностным сплавом и подложкой толщиной ~1 мкм, характеризуется монотонным по глубине замещением тантала никелем и диффузионным переходом к подложке из никелида титана.

Полученные поверхностные сплавы обладают низким модулем упругости, свойствами сверхэластичности, повышенными характеристиками коррозионной стойкости в биологических средах, рентгеноконтрастности и гемосовместимости, утроенной тромборезистентностью. Обнаружено, что при усталостных испытаниях поверхностные сплавы выдерживают деформирующие циклические нагрузки без образования трещин на своих поверхностях вплоть до стадии критического роста магистральной трещины. Особо следует подчеркнуть, что магистральная трещина формируется не на модифицированной поверхности образца, а в его внутреннем объеме из сплава на основе никелида титана. Более того, разработанный и реализованный способ модификации поверхностного слоя приводит к изменению упруго-пластических характеристик материала на глубину, в 50 раз большую, чем толщина самого поверхностного сплава. Фрактографический анализ поверхностей разрушения образцов с поверхностными сплавами показал, что на этапах стабильного роста трещины, распространяющейся по направлению из TiNi-сердцевины образца к поверхности с поверхностным сплавом с аморфной или аморфно-нанокристаллической структурой, наблюдается ее эффективное торможение в прилежащих к нему слоях. Это, на наш взгляд, является главной причиной стабилизации усталостных характеристик «поверхностный сплав/TiNi подложка».

Показано, что наличие поверхностных сплавов повлияло на соотношение вкладов в деформацию, возвращаемую путем проявления эффекта памяти формы или сверхэластичности. При температурах около 0°C образцы с поверхностными сплавами оказываются на ~20% более сверхэластичными, а при температуре человеческого тела проявляют в 2-2.25 раз более высокий ЭПФ с более узким гистерезисом, чем исходный материал из никелида титана. Это имеет значение для использования данных способов

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

модификации поверхности образца из данного сплава в устройствах или имплантатах, новую форму которым задают при пониженных температурах, близких к $T=0^{\circ}\text{C}$, а восстановление прежней формы осуществляется при температурах, близких к температуре человеческого тела.

Эксперименты, проведенные *in vitro* в культуральных средах, содержащих мезенхимальные стволовые клетки костного мозга крысы или человека, показали отсутствие токсичности и высокую гемосовместимость, включая 3-кратное увеличение тромбрезистентности (по сравнению с исходным материалом), разработанных поверхностных сплавов, что позволяет рассматривать их как высокоэффективные функциональные защитные покрытия для металлических биоматериалов.

Разработка способа электронно-пучкового синтеза и исследования структуры поверхностных сплавов выполнены при финансовой поддержке проектом РНФ №18-19-00198 (26.04.2018). Исследования физико-механических и биохимических свойств образцов выполнены в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, направление III.23.