

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения
Российской академии наук

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
Перспективные материалы
с иерархической структурой
для новых технологий
и надежных конструкций
9 - 13 октября 2017 года
Томск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Томск – 2017

ИЕРАРХИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННАЯ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СВЕРХЭЛАСТИЧНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ Ti-Ta, СФОРМИРОВАННОГО НА TiNi ПОДЛОЖКЕ АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

^{1,4}Мейснер Л.Л., ²Марков А.Б., ³Ротштейн В.П., ²Озур Г.Е.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия,

²Институт сильноточной электроники СО РАН, Россия,

³Томский государственный педагогический университет, Россия

⁴Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

llm@ispms.tsc.ru

Представлены результаты исследований структуры, физико-механических свойств и биосовместимости поверхностного сверхэластичного сплава на основе Ti-Ta, сформированного на подложке из сплава TiNi аддитивным методом с использованием низкоэнергетического сильноточного электронного пучка (НСЭП).

Проведены расчеты динамики температурных полей для системы «пленка (Ti₇₀Ta₃₀, 50 нм)/подложка (TiNi)», включающие моделирование процесса плавления методом эффективной теплоемкости, а также учет процесса испарения с помощью модели теплового разрушения. Получены зависимости толщины расплавленного слоя от плотности энергии E электронного пучка (длительность импульса $\tau = 2.5$ мкс) для системы «пленка (Ti₇₀Ta₃₀, 50 нм)/подложка (TiNi)» при однократном облучении. Установлено, что порог плавления TiNi подложки составляет 1.6 Дж/см², при этом пленка Ti₇₀Ta₃₀ остается в твердом состоянии. Пленка начинает плавиться при 3 Дж/см², при меньших значениях плотности энергии плавится только TiNi подложка. Рассчитаны зависимости температуры поверхности от времени для этой же системы «пленка/подложка» при E= 2 и 3 Дж/см². Расчеты показали, что сразу после окончания затвердевания скорость охлаждения достигают $\sim 4 \times 10^8$ К/с. Рассчитаны зависимости изменения во времени положения границы расплав – твердое тело для системы пленка (Ti₇₀Ta₃₀)/подложка (TiNi) при E= 2 и 3 Дж/см². Согласно проведенным расчетам, при E= 2 Дж/см² плавится только TiNi подложка, при этом максимальная толщина расплава, время его жизни и средняя скорость фронта затвердевания составляют ~ 0.7 мкм, 1.3 мкс и ~ 1 м/с, соответственно. На основании проведенных расчетов выбраны режимы обработок: химический состав и толщина осаждаемых Ti-Ta пленок, плотность энергии электронного пучка при облучении системы «пленка/подложка» в режиме жидкофазного перемешивания, количество «наплавов» для получения слоя, толщиной ~ 1 мкм.

Аддитивный метод формирования поверхностного сверхэластичного сплава на основе Ti-Ta, на TiNi подложке с использованием НСЭП включал

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

в себя многоцикловое чередование операций осаждения Ti-Ta пленки и импульсного плавления (жидкофазного перемешивания) системы пленка-подложка при помощи НСЭП. Показано, что равномерное жидкофазное перемешивание компонентов пленки $Ti_{70}Ta_{30}$ толщиной $h = 50$ нм и TiNi подложки обеспечивается при числе импульсов НСЭП в каждом цикле $n \geq 5$. Поэтому было выбрано $h = 50$ нм, $n=5$, число циклов $N=20$.

Установлено, что исследуемый поверхностный сплав в виде наружного слоя толщиной ~ 1 мкм имеет градиентную по глубине аморфно-нанокристаллическую структуру, состоящую из нескольких подслоев, отличающихся фазовым составом, средним размером зерна и ориентацией зерен. Внешний (приповерхностный) слой имеет полностью кристаллическую структуру, зерна которой ориентированы перпендикулярно поверхности; под ним формируется подслой преимущественно аморфной структурой; ниже лежащие нанокристаллические слои состоят преимущественно из произвольно ориентированных зерен α' -мартенситной и β -аустенитной (разупорядоченной ОЦК) структуры на основе системы Ti-Ta. Под слоем из Ti-Ta поверхностного сплава располагается промежуточная зона с монотонным по глубине замещением тантала никелем и диффузионным переходом к TiNi подложке. Эта зона также имеет толщину ~ 1 мкм и слоистую, преимущественно нанокристаллическую структуру, а изменение фазового состава по глубине определяется изменением состава системы Ti-Ni-Ta. Послойное строение поверхностного сплава и промежуточной зоны связано с циклическим характером процесса обработки.

Выполнена оценка физико-механических свойств на субмикромасштабном уровне (твердости, модуля упругости, параметров пластичности и неупругости) Ti-Ta поверхностного сплава и их влияния на механические свойства полученного слоевого композита на TiNi подложке на макромасштабном уровне.

Обсуждаются перспективы использования примененного аддитивного способа для формирования безникелевых поверхностных сплавов на основе Ti со свойствами сверхэластичности на подложках из TiNi сплава для медицины.

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантом РФФ № 15-13-00023 (от 18.05.2015 г.).