

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

Томск
Издательский Дом ТГУ
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/173

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ МОНОЛИТНЫХ ПЛАСТИН НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ПОРИСТО-МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Артюхова Н.В., Кафтаранова М.И., Аникеев С.Г.

Национальный Исследовательский Томский государственный университет, Томск

Прогресс во многих областях современной медицины связан с появлением сложных технических устройств, разработкой новых технологий и материалов, однако на сегодняшний день остается актуальной и практически важной проблема создания медицинских конструкций с улучшенными медико-биологическими свойствами. Важна также конструкция имплантата, которая обеспечивала бы допустимые напряжения в тканях. Поэтому материалы, предназначенные для их изготовления, должны обладать высокими механическими свойствами, обеспечивающими их толерантность к живым тканям [1]. Использование имплантатов из никелида титана основано на их биологической инертности. Физико-механические свойства данного сплава позволяют моделировать сложные по конфигурации конструкции, соответствующие анатомическим особенностям человека [2].

Новый класс разработанных пористо-монолитных конструкций на основе TiNi позволит за счет монолитной и пористых частей повысить как физико-механические свойства, так и обеспечить интеграционную способность имплантата в живую ткань. Это приведет к получению биосовместимых имплантационных комбинированных устройств медицинского назначения для челюстно-лицевой хирургии, онкологии, стоматологии. Примером таких устройств являются протез височно-нижнечелюстного сустава, ребер грудной клетки и дентальные имплантаты, где существуют повышенные требования к эластичности и прочности конструкции имплантата, который имеет комбинированную пористо-монолитную структуру.

Создание пористо-монолитных материалов возможно при условии качественного припекания пористой части к монолитной. В данной работе на этапе создания пористо-монолитных конструкций была решена дополнительная задача по исследованию структурных особенностей монолитных сплавов TiNi исходной композиции. Химический состав и структура данных монолитных материалов имеет важное практическое значение, так как в процессе получения пористо-монолитных материалов происходит сегрегация титана и изменение характеристических температур мартенситных превращений.

В исследовании использованы два сплава никелида титана, отличающиеся содержанием Ti в матричной фазе B2. Сплавы на основе TiNi выплавлены в индукционной печи ИСВ–0,004–ПИ М1 в инертной атмосфере аргона путем переплава титана и никеля. Дозирование компонент проводилось на лабораторных весах I класса точности. Состав полученных сплавов TiNi–I и TiNi–II приведен в таблице 1.

Таблица 1. Элементный состав монолитных сплавов на основе никелида титана

Сплав	Ti ат. %	Ni ат. %
Сплав TiNi–I	52	48
Сплав TiNi–II	51	49

Полученные слитки монолитных сплавов были прокатаны в пластины с промежуточными отжигами на воздухе при температуре $T=450-650$ °С. Для исследования структуры и свойств сплавов на электроискровом станке марки А 20786 вырезались образцы размером 50×1×10 мм. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Axiovert–40MAT. Микроструктуру и фазовый состав сплавов исследовали на растровом электронном микроскопе PHILIPS SEM 515 с помощью микроанализатора EDAX ECON IV. Параметры шероховатости поверхности полученных пластин найдены с помощью интерференционного микроскопа-профилометра «МНП-1».

Исследование макро- и микроструктуры данных сплавов показало, что главной особенностью материалов является однородность их сформированной структуры, что

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

позволит в дальнейшем использовать их при создании пористо-монокристаллической конструкции. Индивидуальные отличия каждого сплава проявляются в размере, плотности распределения и форме выделенных частиц. Структура всех сплавов представлена матрицей TiNi(B2) с равномерно выделенными при плавлении и перераспределении материала частицами Ti₂Ni, TiNi₃. Размер частиц колеблется в пределах от 0,1 до 5,5 мкм.

Установлено, что исходные пластины, полученные путем прокатки, после отжига на воздухе покрыты массивным слоем оксикабонитридов Ti₄Ni₂O(N,C) толщиной около 10 мкм, который будет препятствовать смачиванию расплавом их поверхности при получении пористо-монокристаллических конструкций. Для его удаления использован водный раствор азотной и плавиковой кислот. Коэффициент шероховатости поверхности Ra после химической обработки составляет 1,5–2 мкм. В ходе создания пористо-монокристаллических конструкций была отмечена целесообразность дополнительной операции механической шлифовки поверхности пластин, которая способствует получению более развитой поверхности. После химической обработки, проводили удаление с поверхности пластин остатков травления путем механической шлифовки, что способствует получению более развитой поверхности с коэффициентом шероховатости Ra 2,5–3 мкм.

Подготовленные монокристаллические пластины помещали в центр кварцевой трубки, которую устанавливали вертикально, после чего вокруг насыпали порошок TiNi с пористостью около 65–70 %. В результате спекания разработанной порошковой шихты с активирующей добавкой Co 1,5 ат. % и монокристаллической пластиной с коэффициентом шероховатости Ra 2,5–3 мкм получены пористо-монокристаллические материалы на основе никелида титана при температуре 1260 °С и времени выдержки 15 мин. Пористая часть имеет пористость 55 % и однородную структуру межпоровых перегородок от периферии к центру образца, где располагается монокристаллическая часть. Это указывает на отсутствие значимого температурного градиента, который может отрицательно повлиять на качество межчастичных контактов, формирующихся в процессе спекания, в том числе на поверхности монокристаллической пластины TiNi, которая является теплоотводом в спекаемой системе. Особое значение для достижения оптимальных деформационно-прочностных свойств имеет химический состав в соединении TiNi в монокристаллической части. Методом энергодисперсионного микроанализа установлено, что после высокотемпературного отжига состав матричной фазы TiNi обедняется по титану и лежит в интервале 48,5–49,5 ат. % Ti. Как показали экспериментальные серии спеканий пористо-монокристаллических комбинированных материалов на основе TiNi при меньших температурах и времени выдержки, невозможно достичь условий создания качественных межчастичных контактов в пористой части и на поверхности монокристаллической пластины.

Таким образом, установлено, что полученные монокристаллические сплавы пригодны для создания пористо-монокристаллической конструкции. На границе перехода пористой части в монокристаллическую происходит припекание частиц порошка к монокристаллической пластине TiNi, в структуре которой не отмечается увеличения концентрации частиц вторичных фаз Ti₂Ni и Ti₄Ni₂(O,N,C) и разупрочнения полученной конструкции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00745.

1. Гюнтер В.Э. Медицинские материалы с памятью формы. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Т.1. 2011. – 534 с.
2. Гюнтер В. Э. Закон запаздывания и гистерезисные свойства функций состояния термодинамических систем с фазовыми переходами : Методическое пособие. – Томск: Изд-во «НПП «МИЦ». 2016. – 42 с.