

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых

РОССИЯ, ТОМСК, 21 – 24 апреля 2020 г.

Том 1. Физика

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Abstracts
XVII International Conference of Students and Young Scientists

RUSSIA, TOMSK, April 21 – 24, 2020

Volume1. Physics

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА С ДОБАВКАМИ ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ДИФФУЗИОННОГО СПЕКАНИЯ

А.С. Гарин, С.Г. Аникеев, Н.В. Артюхова
Научный руководитель: к.ф.-м.н. С.Г. Аникеев
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: Stik–020@mail.ru

STRUCTURAL FEATURES OF TINI-BASED ALLOYS WITH TITANIUM ADDITIVES OBTAINED BY DIFFUSION SINTERING

A.S. Garin, A.S. Anikeev, N.V. Artyukhova
Scientific Supervisor: PhD S.G. Anikeev
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
E-mail: Stik–020@mail.ru

Abstract. *The selected mode of obtaining a porous TiNi-based alloy with the addition of 5 and 10 at. % Ti is characterized by the formation of moderate and increased portions of the liquid phase, respectively. Getting alloy with 15 at. % Ti with a regular porous structure is impossible due to the formation of an excess melt volume during sintering. The data of X-ray diffraction analysis of porous TiNi-based alloy show that the alloy contains an austenitic TiNi (B2) phase, martensitic TiNi (B19'), as well as secondary phases Ti2Ni, Ti3Ni4 and traces of the TiNi3 phase. The use of the Ti additives considered allowed us to solve the problem of correcting the atomic composition of the TiNi compound.*

Введение. Пористые сплавы на основе никелида титана (TiNi) получают методами порошковой металлургии [1]. Благодаря возможности реализации фазовых мартенситных превращений материал на основе TiNi способен проявлять высокие эластичные свойства подобно тканям организма и изменять форму при изменении температуры и напряжения, имеет пористо-проницаемую структуру за счет открытых пор, является особой термостабильной системой с высокой степенью смачиваемости тканевыми жидкостями и высоким уровнем биомеханической и биохимической совместимости на клеточном уровне [2].

Методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и диффузионного спекание получают пористые материалы на основе никелида титана медицинского назначения. При использовании метода СВС существует возможность эффективного регулирования атомного состава в основном соединении TiNi, которое ответственно за реализацию термоупругих мартенситных превращений (МП) в сплаве никелида титана. Известно, что даже обогащение на десятые доли процента по никелю приводит к значительному снижению характеристических температур МП [3]. Однако, существуют ограничения использования пористого СВС-сплава TiNi в силу его несоответствия структурным параметрам тканям организма, обусловленное превышением макроструктурных характеристик пористости и среднего размера пор.

Использование гидридно-кальциевого порошка TiNi при создании пористых конструкций на основе сплава никелида титана позволяет избежать многих недостатков СВС-технологии [4]. Путем диффузионного спекания порошка TiNi получают как крупные, так и мелкоразмерные конструкции для создания имплантатов, используемых в стоматологии, челюстно-лицевой хирургии, травматологии. В результате диффузионного спекания порошковой системы TiNi и активации процессов диффузии, поверхностного и объемного массопереносов, возможно создание особой шероховатой террасовидной поверхности стенок пор в пористо-проницаемых материалах на основе никелида титана. Однако, как показали исследования, при высоких конструкционных и прочностных свойствах пористого материала, полученного методом спекания, свойства гистерезисного характера формоизменения не реализуемы при использовании однокомпонентной порошковой смеси TiNi, в силу избыточного обогащения матрицы TiNi по Ni. Таким образом, целью работы является исследование возможности использования добавок порошка Ti с целью достижения возможности реализации мартенситных превращений в сплавах на основе никелида титана, полученных методом диффузионного спекания.

Экспериментальная часть. В работе исследованы структурные особенности образцов пористого сплава на основе никелида титана, полученные методом однократного жидкофазного диффузионного спекания порошка TiNi марки ПВ–Н55Т45 и добавками порошка Ti марки ПТЭМ–1 с концентрацией (5, 10, 15 at. % Ti сверх навески TiNi).

Однократное спекание проводили в электровакуумной печи СНВЭ–1.31/16–И4 в течение 15 min при температуре в 1250–1260 ^{o}C. Спекание проводили при давлении $6{,}65\cdot10^{-4}$ Pa со средней скоростью нагрева 10 ^{o}C/min. Начальная пористость насыпки составляла 60–65%. Порошок засыпали в кварцевые капсулы, которые имели внутренний диаметр 13–14 mm и длину 65–80 mm. Для расчета навесок использованы аналитические весы I класса точности A&D GH-200. Смешивание проводили в V-образном смесителе в течение 8 h. Полученные пористые образцы с добавкой 5 и 10 ат. % Ti имели диаметр 11–13 mm, длину 65–80 mm, с 15 ат. % Ti получена практически монолитная структура образца TiNi–Ti.

С целью изучения макро- и микроструктуры образцов пористого сплава TiNi готовили металлографические шлифы по стандартной методике. Структуру металлической матрицы полученных образцов исследовали методами оптической и растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием микроскопов Axiovert–40 MAT и Quanta 200 3D, соответственно. Концентрационный состав фаз определяли с помощью энергодисперсионного спектрометра (ЭДС) EDAX ECON IV. Рентгеноструктурные исследования (РСА) проводили на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 6000 с полупроводниковым детектором на Cu излучении. Количественный анализ содержания фаз Ti_2Ni и $Ti_4Ni_2(O,N,C)$ проведен по стереографической методике с использованием программного обеспечения ImageJ.

Результаты. Выбранный режим получения пористого сплава на основе никелида титана с добавкой 5 и 10 ат. % Ti характеризуется образованием умеренных и повышенных порций жидкой фазы, соответственно. Получен пористый сплав с качественными межчастичными контактами во всем объеме материала. Однако необходимо отметить, что в сплаве с добавкой 10 ат. % Ti вследствие большого объема расплава, образованного в процессе жидкофазного спекания, наблюдается значительная степень усадки в поперечном направлении. Пористость образцов после спекания для сплавов на основе никелида титана с добавкой 5 ат. % Ti составляет 51 %, что является допустимой величиной для создания пористо-проницаемых имплантатов. В сплавах с добавкой 10 ат. % Ti образуется большее количество расплава, и

как следствие, происходит коалисценция мелких пор. В результате наблюдается снижение пористости до 27%. Получение сплава с 15 at. % Ti с регулярной пористой структурой невозможно в силу образования избыточного объема расплава в процессе спекания. Высокое содержание порошка Ti приводит к получению практически монолитного материала.

Данные рентгеноструктурного анализа пористых сплавов на основе никелида титана показывают, что в сплаве присутствуют аустенитная фаза TiNi(B2), мартенситная TiNi(B19′), а также вторичные фазы Ti_2Ni, Ti_3Ni_4 и следы фазы $TiNi_3$. Объемное содержание фаз Ti2Ni для сплавов TiNi с 5 at. % Ti составило 12,7 % и для сплава с 10 at. % Ti – 25,3 %. С двукратным увеличением добавок титана, двукратно возрастает доля частиц, обогащенных по титану. Температуры спекания пористого материала лежат в интервале, способствующем образованию фаз Ti_2Ni, который образуется в результате жидкофазного взаимодействия расплава TiNi и частиц Ti согласно формуле $TiNi+Ti \rightarrow Ti_2Ni$.

Использование различных концентраций добавок Ti позволяет регулировать состав соединения TiNi в разной мере. Добавка 5 at. % Ti привела к получению химического состава соединения TiNi с 49,14±0,24 at. % Ti, в то время как в два раза большая добавка Ti позволила повысить количество титана в фазе TiNi лишь до 49,73±0,17 at.%. Отмеченная особенность может быть объяснена тем, что в сплаве с 10 at. % Ti большое количество титана расходуется на формирование прослоек на основе фаз Ti_2Ni и $Ti_4Ni_2(O,N,C)$, так как они имеют минимальную энтальпию образования в исследуемой системе Ti–Ni.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 19-79-10045). Электронно-микроскопические исследования проведены на оборудовании Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khodorenko V.N. Structural and Strength Properties of Porous TiNi-Base Alloys Obtained by Self-Propagating Hightemperature Synthesis and Diffusion Sintering / V. N. Khodorenko, V.E. Gunther, S.G. Anikeev // Russian Physics Journal. – 2014. – Vol. 57, is. 6. – P. 723–730.
2. Кокорев О.В., Ходоренко В.Н., Аникеев С.Г. и др. Исследование поведения мезенхимальных стволовых клеток костного мозга в пористо-проницаемых инкубаторах из никелида титана // Вестник новых медицинских технологий – 2012, Тула, Т. XIX, №1, С. 32-36
3. Гюнтер, В.Э. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы: в 14 томах / В.Э. Гюнтер, В.Н. Ходоренко, Т.Л. Чекалкин и др. ; под ред. В.Э. Гюнтера. – Томск: Изд-во «МИЦ», 2011. – Т. 1. – 534 с.
4. S.G. Anikeev , V.N. Khodorenko, T.L. Chekalkin, V.E. Gunther, J.H. Kang, J.S. Kim. Fabrication and Study of Double Sintered TiNi-Based Porous / Smart Materials and Structures. – 2017. – 26(5) 057001.