ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.
Томск, Россия

Томск – 2021
Издательство ТГУ

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-115

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЕЧЕННОМ ПОРИСТОМ СПЛАВЕ TiNi–Ti-Co/Ni

Кафтаранова М.И., Аникеев С.Г., Артюхова Н.В., Мамазакиров О.Р.,
Моногенов А.Н., Ходоренко В.Н.
Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

Реализация в сплавах на основе TiNi мартенситного превращения является одним из факторов при выборе его для дальнейшего использования в качестве имплантационного материала. Это открывает возможности для разработки новых конструкционных и функциональных имплантируемых устройств. Ранее в работе [1] было показано, что при диффузионном спекании порошка TiNi, полученного гидридно-кальциевым восстановлением, из-за процессов окисления и активной сегрегации титана на свободные поверхности наблюдается значительное обеднение соединения TiNi по Ti. Это в свою очередь приводит к смещению температур фазовых превращений в низкотемпературную область близкую к температурам кипения жидкого азота. Скомпенсировать обеднение соединения TiNi по титану возможно за счет дополнительного введение в состав спекаемой смеси порошка Ti. Однако, наряду с однородной по химическому составу матрицей TiNi в сплавах наблюдается выделение большого количества отдельных частиц Ti_2Ni и Ti_4Ni_2O, а также прослоек фазы Ti_2Ni вдоль границ зерен. Введением дополнительных добавок Co и Ni в состав материала TiNi-Ti планируется отрегулировать параметры пористости, а также скорректировать количество фаз Ti_2Ni за счет вовлечения титана в состав фаз с Co и Ni. Таким образом совместное спекание порошка TiNi с добавками Ti, Co, Ni позволит добиться реализации в материале мартенситных превращений, а также выровнять матричную фазу TiNi по фазовому и химическому составу, что в дальнейшем благоприятно скажется на прочностные и пластические характеристики сплавов.

Данная работа посвящена комплексному анализу и взаимосвязи параметров фазовых мартенситных превращений и морфологических особенностей в спечённых пористых материалах TiNi-Ti-Co/Ni.

Экспериментальные образцы TiNi с добавками Ti, Co и Ni получены из порошков TiNi (ПВ–Н55Т45) и Ti (ПТЭМ-1), порошка Co (ПК-1у) и Ni (ПНК). Для исследования влияния добавок Ti, Co, Ni использован интервал концентраций добавки Ti 5.0; 7.5 at. % сверх навески TiNi, добавка Co, Ni составила 1,5 ат.%. Размер частиц порошка TiNi в пределах 100 – 160 мкм. Порошковую смесь просушивали, смешивали и засыпали с начальной пористостью 60–70 % в кварцевые капсулы, которые имели внутренний диаметр 13–14 мм и длину 65–80 мм. Спекание капсул с порошковой насыпкой проводили в горизонтальном положении в электровакуумной печи СНВЭ–1.31/16–И4 в течение 15 мин при температуре 1255±5ºС. Данный температурно-временной режим позволяет получать пористые материалы с оптимальной степенью спекания. Последовательность и характеристические температуры МП изучали методами определения температурной зависимости удельного электросопротивления (СИЭС-30). Структурные особенности сплавов исследовали методом растровой электронной микроскопии на микроскопе (SEM).

Исследование кривых удельного электросопротивления показало, что введением добавок Ti, Ni, Co можно планомерно оказывать влияние на температуры мартенситных превращений (МП) за счет изменения концентрационного состава соединения TiNi. Согласно проведенным исследованиям установлено, что для сплавов TiNi-Ti при увеличении добавки Ti от 5 до 7,5 at. % Ti фаза типа Ti_2Ni приобретает отличительные морфологические признаки. В сплавах с добавками Ti до 5 at. % Ti фаза Ti_2Ni представлена в виде отдельных фаз круглой, пирамидальной форм, а также прослоек фазы Ti_2Ni вокруг отдельных зерен. С повышением добавки до 7,5 at. % Ti увеличивается количество расплава Ti_2Ni, который вовлекает отдельные крупные и мелкие частицы, обогащенные по титану, и приводит к формированию дендритной структуры Ti_2Ni–TiNi. Однако данный факт незначительно отражается на изменении температур мартенситных превращений поскольку объёмное

содержание фазы Ti_2Ni в материале не изменяется наблюдается только изменение его морфологии.

Введение дополнительных активирующих добавок Co и Ni в равной концентрации 1,5 ат. % позволило за счет вовлечения титана в формирование фаз с Co и Ni снизить количество фаз Ti_2Ni. Использование различных концентрационных добавок Ti позволяет выровнять по химическому составу фазу TiNi, ответственную за реализацию мартенситного превращения. Состав фазы TiNi определен с участков, свободных от частиц вторичных фаз Ti_2Ni (табл. 1).

Таблица 1. Состав матричной фазы TiNi в сплавах на основе никелида титана, полученных диффузионным спеканием

Образец	Состав, ат. %	
	Ti	NI
TiNi+5 at. % Ti + 1.5 Ni	48.06± 0.1	51.94± 0.17
TiNi+5 at. % Ti + 1.5 Co	49.56± 1,3	50.43± 0.36
TiNi+7.5 at. % Ti + 1.5 Ni	49.69± 0.19	50.30± 0.17
TiNi+7.5 at. % Ti + 1.5 Co	49.16± 0,20	50.89± 0,15

Добавки кобальта оказывают плавное влияние на температуры МП в то время, как, в сплаве TiNi+5Ti+1.5Ni добавка никеля приводит к существенному изменению характеристических температур превращения. Видно, что МП не завершается вплоть до -196 °C (таблица 2). Вероятно данное поведение характеристических температур связано с обогащением материала по никелю и выделением в матричной фазе TiNi, ответственной за мартенситное превращение мелкодисперсных частиц, обогащенных по никелю Ti_3Ni_4.

Однако уже в сплаве TiNi+7.5Ti+1.5Ni за счет выравнивания химического состава матрицы за счет добавки Ti и перераспределения фаз Ti_2Ni температуры сплавов выравниваются. Характерной особенностью является то, что мартенситное превращение во всех сплавах реализуется по типу B2↔R↔B19′.

Таблица 2. Характеристические температуры мартенситных превращений в сплавах на основе никелида титана, полученных диффузионным спеканием

Образец	Температура МП, °C				
	T_R	M_s	M_f	A_s	A_f
TiNi+5Ti	60	37	0	10	29
TiNi+7.5Ti	60	39	5	18	31
TiNi+5Ti+1.5Co	47	25	0	2	40
TiNi+7.5Ti+1.5Co	55	31	0	2	40
TiNi+5Ti+1.5Ni	46	-120	-	-	47
TiNi+7.5Ti+1.5Ni	60	38	0	27	55

Таким образом, показано, что введение активирующих добавок Co и Ni в концентрации 1,5 ат. % позволило за счет вовлечения титана в формирование фаз с Co и Ni скорректировать избыточное количество фаз Ti_2Ni. Изучена взаимосвязь сформированной структуры и характеристик мартенситных превращений в пористых сплавах на основе никелида титана, полученных методом диффузионного спекания. Показало, что введением добавок Ti, Ni, Co можно планомерно оказывать влияние на температуры мартенситных превращений (МП).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 19-79-10045).

1. Anikeev S.G. Kaftaranova M.I., Khodorenko V.N. et al. Effect of Titanium Additions on Structural Aspects of Porous TiNi-Based Materials Prepared by Diffusion Sintering // Inorganic Materials. 2020. V. 56 (9). P. 918-923.