

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ ПОРОШКОВОГО НИКЕЛИДА ТИТАНА

Е.В. АБДУЛЬМЕНОВА<sup>1</sup>, О.Ю. ВАУЛИНА<sup>1</sup>, С.Н. КУЛЬКОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: [eva5@tpu.ru](mailto:eva5@tpu.ru)

На сегодняшний день сплав TiNi широко используется вследствие его коррозионной устойчивости, относительно небольшого удельного веса, высоких прочностных и пластических свойств [1]. Однако, получение изделий с заданными свойствами возможно лишь при строгом контроле параметров структуры и химического состава, поэтому информация о фазовом составе, кристаллической структуре и их изменения важны для правильного применения этих материалов.

Исследован промышленный порошок никелида титана марки ПН55Т45 производства АО «Полема». Отжиг порошков проводили в вакуумной печи СШВ-1.25/2500 при температурах 750 °С и 900 °С, охлаждение с печью, выдержкой 1 ч и остаточном давлении не выше 10<sup>-4</sup> мм рт.ст. Морфология частиц и гранулометрический состав исследовался с помощью микроскопа TESCAN VEGA 3SBH и лазерного дифракционного анализатора размеров наночастиц SALD-7101 фирмы Shimadzu (Япония). Фазовый состав изучен с помощью дифрактометра с излучением CuK<sub>α</sub> в режиме сканирования по точкам в интервале углов 10° - 130° с шагом 0.05°. Удельную поверхность порошка измеряли на приборе серии «Sorbi». Измеренная удельная поверхность позволила оценить размер частиц в предположении их сферичности.

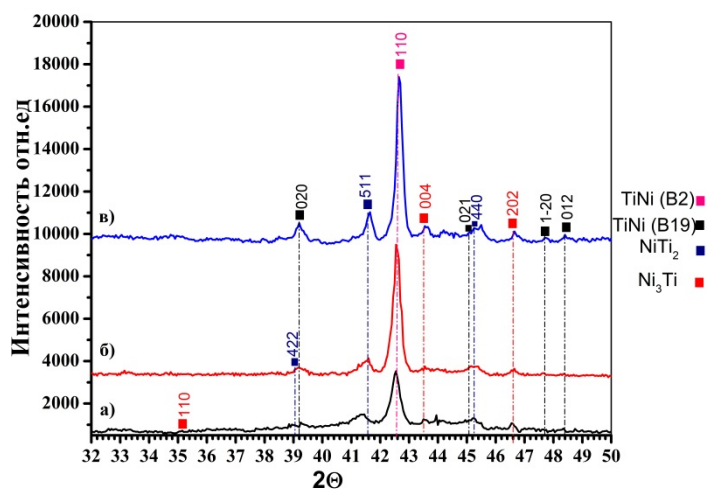


Рисунок 1 – Фрагмент рентгенограммы порошкового ПН55Т45 в исходном состоянии (а); после отжига: 750 °(б) и 900 °С (в)

Исходная структура порошкового никелида титана состоит из TiNi (B2) и NiTi<sub>2</sub> (кубическая сингония); TiNi (моноклинная сингония B19') и Ni<sub>3</sub>Ti (гексагональная сингония). Дифрактограммы порошка в исходном состоянии характеризуются широкими дифракционными профилями. Проведённый отжиг порошка в вакууме при температурах 750 °С и 900 °С в течение часа не изменил фазовый состав порошка, рисунок 1, при этом ширины линий фаз уменьшаются в среднем примерно в 2 раза (таблица 1), а их интенсивность растёт. В частности, интенсивность пика (110) TiNi B2 после отжига при температуре 750 °С, приводит к увеличению интенсивности пика на 18%, по отношению к остальным интенсивностям отражения фаз TiNi (B19' 020), Ti<sub>2</sub>Ni (511, 440), Ni<sub>3</sub>Ti (422; 004). В то время как отжиг при температуре 900 °С повышает интенсивность этого пика всего на

9%. Это свидетельствует об уменьшении концентрационной неоднородности порошка [2]. Параметр решетки фазы В2 уменьшается на 0,005 Å, что свидетельствует о приближении состава к эквиатомному, что видно из рисунка 2 [3].

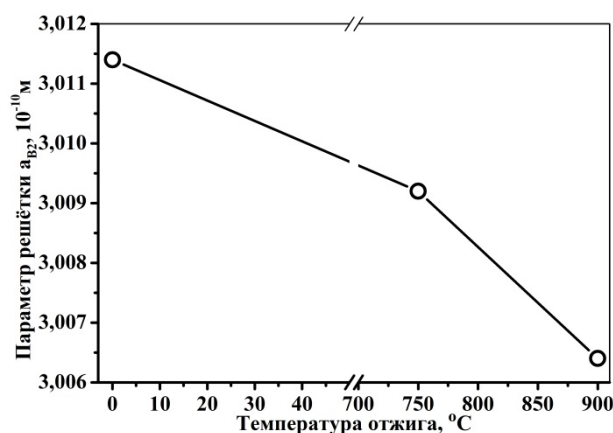


Рисунок 2 – Зависимость параметра решётки  $a_{B2}$  порошкового ПН55Т45 от температуры отжига

В таблице 1 представлены ширины линий, средний диаметр частиц порошка  $\langle d \rangle$  и размер ОКР при разной температуре отжига. Из представленных данных видно, что  $\langle d \rangle_{ЛД}$  в процессе отжига увеличивается с 8,0 мкм до 9,5 мкм. В то время как  $\langle d \rangle_{БЭТ}$  изменяется незначительно (3,9–4,9 мкм) в отличие от  $\langle d \rangle_{СЭМ}$ , где значение среднего диаметра увеличивается от 11,1 мкм до 16 мкм, что обусловлено агрегированностью частиц в процессе отжига.

Таблица 1 – Ширины линий, средний диаметр ( $\langle d \rangle$ ) и ОКР частиц порошкового ПН55Т45

	$\langle d \rangle_{СЭМ}$ , мкм	$\langle d \rangle_{ЛД}$ , мкм	$\langle d \rangle_{БЭТ}$ , мкм	ОКР, нм	Ширины линий (FWHM), °				
					Рентген оаморф	NiTi <sub>2</sub>	Ni <sub>3</sub> Ti	TiNi (B2)	TiNi (B19')
Исходное состояние	11,1	8,0	3,9	43,45	1,10	0,73	0,08	0,30	0,37
Отжиг 750 °C	11,3	8,8	4,2	36,17	1,11	0,49	0,47	0,22	0,78
Отжиг 900 °C	16	9,5	4,9	35,96	0,94	0,26	0,27	0,18	0,39

Таким образом, показано, что отжиги приводят к уменьшению параметра решетки фазы В2, устраняют концентрационную неоднородность порошков. Показано, что средний размер частиц порошка для порошкового TiNi лежит в диапазоне от 16 мкм до 8 мкм. Размер ОКР значительно меньше, чем средний размер, измеренный с помощью методов лазерной дифракции (ЛД) и Брунауэра, Эммета и Теллера (БЭТ), т.е. частицы TiNi состоят из нескольких кристаллитов количество которых возрастает в среднем от  $5 \times 10^4$  до  $10^5$  при увеличении температуры отжига.

#### Список литературы

1. Yoneyama T., Miyazaki S. Shape memory alloys for biomedical applications. – Cambridge, UK : Woodhead Publishing, 2008.– 337 p
2. С.П. Беляев, Н.Н. Реснина, А.В. Воронков, И.Ю. Остапов. Влияние отжига на структуру, мартенситные переходы и механические свойства пористого сплава TiNi, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Вестник ТГУ, т.15, вып.3, 2010, с. 1148 – 1151
3. Гришков В.Н., Лотков А.И. Мартенситные превращения в области гомогенности интерметаллида TiNi // ФММ. – 1985. – Т. 60. – Вып. 2. – С. 351–355.