ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ СТАРЕЮЩИХ И НЕСТАРЕЮЩИХ СПЛАВОВ TI-NI С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ БИАКСИАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Комаров В.С. [1,2], Хмелевская И.Ю. [1], Карелин Р.Д. [1], Корпала Д. [2], Кавалла Р. [2], Прокошкин С.Д. [1],

[1] *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия*

[2] *Технический университет Фрайбергская горная академия, Фрайберг, Германия*

komarov@misis.ru

Термомеханическая обработка, включающая интенсивную пластическую деформацию (ИПД), является одним из наиболее эффективных методов повышения функциональных свойств сплавов с памятью формы (СПФ) на основе Ti-Ni [1]. С её помощью в данных сплавах можно сформировать нанокристаллическую структуру, обеспечивающую существенное повышение функциональных свойств. Настоящее исследование является продолжением работ [2, 3], где была показана эффективность использования ИПД по схеме *MaxStrain* с целью измельчения структуры и повышения комплекса функциональных свойств.

Деформацию нестареющего (Ti-50,0 ат.% Ni) и стареющего (Ti-50,9 ат.% Ni) сплавов проводили в изотермических условиях по схеме *MaxStrain,* которая заключается в чередовании сжатия образца по двум взаимноперпендикулярным осям. Температурные интервалы мартенситных превращений оценивали методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Структуру исследовали рентгенографически и электронномикроскопически. Обратимую деформацию определяли термомеханическим методом при изгибе.

Понижение температуры квазинепрерывной изотермической деформации объемных образцов нестареющего СПФ Ti-Ni с 370 до 250 °С и увеличение степени накопленной деформации с *e* = 6,6 до 11 приводит к измельчению структурных элементов (зерен/субзерен) B2-фазы и формированию нанокристаллической зеренно/субзеренной структуры со средним размером зерен/субзерен (55±10) нм, что до сих пор получить в объемных образцах СПФ Ti-Ni не удавалось. Также впервые проведена деформация по схеме *MaxStrain* стареющего СПФ Ti-Ni при температурах 350 - 330 °С со степенью накопленной деформации *e* = 6,6 - 9,5. Полученная структура находится в нанометрическом диапазоне, со средним размером элементов структуры менее 80 нм.

Нанокристаллическая структура, сформированная в результате *MaxStrain* деформации, обеспечивает значительное повышение значений максимальной полностью обратимой деформации ЭПФ $\varepsilon_{r,1}^{max}$ с 2,5 до 9,6 % в случае нестареющего сплава и полной обратимой деформации с 4 до 12 % в случае стареющего сплава по сравнению с контрольной обработкой.

В работе показана возможность применения деформации по схеме *MaxStrain* при деформационно-температурных условиях, характерных для формирования структуры, близкой к нанокристаллической и определены критические режимы деформации, сопровождающиеся возникновением трещин. В нестареющем СПФ Ti-Ni это происходит при температуре деформации 250 °С со степенью *e* = 11, а в стареющем – соответственно при 330 °С и *e* = 9,5.

Последеформационный отжиг (ПДО), необходимый для задания рабочей («вспоминаемой») формы готовому изделию из СПФ, после *MaxStrain* деформации приводит к частичному разупрочнению нестареющего сплава, но позволяет сохранить

высокий уровень функциональных свойств ($\varepsilon_{r,1}^{max}$ до 8,6 %). В стареющем сплаве ПДО приводит к дисперсионному твердению сплава и как следствие некоторому повышению (на 0,3 - 0,7 %) значений максимальной полностью обратимой и полной обратимой деформации.

Список литературы

1 Brailovski V., Prokoshkin S., Khmelevskaya I., Inaekyan K., Demers V., Dobatkin S., Tatyanin E. Mater. Trans. 47 (2006) 795-804.

2 Khmelevskaya I.Y., Kawalla R., Prokoshkin S.D., Komarov V.S. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 63(1) (2014) 012108.

3 Khmelevskaya I., V. Komarov, Kawalla R., Prokoshkin S., Korpala G. J. Mater. Eng. Perform. 26(8) (2017) 4011-4019.