

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ РКУП В КВАЗИНЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ДЕФОРМАЦИИ

**Карелин Р.Д.^{1,2}, Хмелевская И.Ю.¹, Прокошкин С.Д.¹, Андреев В.А.^{2,3},
Комаров В.С.¹, Юсупов В.С.², Перкас М.М.², Просвирнин В.В.², Шелест А.Е.²**

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия

²Институт металлургии и материаловедения РАН, Москва, Россия

³ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ», Москва, Россия
RDKarelin@gmail.com

В данной работе исследовали возможность проведения равноканального углового прессования (РКУП) околоэквиатомных сплавов с памятью формы (СПФ) на основе никелида титана при пониженных (вплоть до комнатной) температурах деформации. Хорошо известно, что применение РКУП в цикле термомеханической обработки (ТМО) позволяет значительно улучшить комплекс механических и функциональных свойств данной группы сплавов за счет интенсивного измельчения структуры. Также хорошо известно, что наилучший комплекс свойств в СПФ Ti-Ni может быть получен путем формирования полностью нанокристаллической структуры [1].

С помощью применения РКУП в классическом режиме (с паузами и подогревами заготовки между проходами) с различным соотношением угла пересечения каналов и температуры прессования в данных сплавах удавалось сформировать только субмикрокристаллическую структуру [2-4]. В свою очередь, в ранее проведенных исследованиях было показано, что применение РКУП в квазинепрерывном режиме с углом пересечения каналов 120 градусов при температуре 400 °С за 5-7 проходов позволяет в заготовке диаметром 20 мм получить смешанную нанокристаллическую и наносубзеренную структуру. Однако, несмотря на большую долю зерен/субзерен размером менее 100 нм, средний размер структурных элементов после применения данного режима ТМО остался выше 100 нм (107±5 нм) [5]. Проведение РКУП в квазинепрерывном режиме при пониженной до 350 °С температуре деформации привело к разрушению заготовки уже после третьего прохода. При этом, данная обработка не позволила сформировать уровень свойств, полученный ранее после квазинепрерывного РКУП при 400 °С. Следовательно, для дальнейшего успешного понижения температуры деформации с целью дополнительного измельчения структуры необходимо изменить условия напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе прессования с целью обеспечения достаточной технологической пластичности никелида титана.

В работах зарубежных авторов имеется опыт успешного проведения РКУП с углом пересечения каналов 90 градусов при комнатной температуре с использованием стальной оболочки. Диаметр заготовки из никелида титана при прессовании составлял 2-5 мм, длина 40 мм, при диаметре оболочки 20-30 мм и длине 50 мм. Следует отметить, что твердость заготовок после прессования составила в среднем 400 ед. HV [6]. Это говорит о перспективности применения РКУП в оболочке для получения повышенного комплекса свойств, в частности прочностных. Однако для дальнейшего использования образца, получаемого после РКУП в оболочке, например для производства длинномерных полуфабрикатов методом ротационнойковки, или в качестве уже готовой заготовки для производства небольших изделий из никелида титана технического или медицинского назначения, необходимо увеличивать, как длину, так и диаметр образца.

Исходя из вышеизложенного в данной работе была предпринята попытка проведения РКУП сплава Ti-50.0 ат. % Ni в стальной оболочке. В качестве оболочки использовали ст.3, диаметр оболочки составлял 20 мм, длина 105 мм, диаметр образца составлял 12 мм, длина 95 мм, угол пересечения каналов составлял 120 градусов. Прессование проводили по 3 режимам. По первому режиму образец нагревали до температуры 350 °С в муфельной печи, после чего его переносили в контейнер и осуществляли прессование, температура контейнера также составляла 350 °С. По второму режиму образец без предварительного нагрева в печи помещали в контейнер, нагретый до

температуры 330 °С, и проводили прессование. По третьему режиму образец без предварительного нагрева в печи помещали в холодный контейнер (комнатной температуры) и проводили прессование. Для каждого из режимов удалось выполнить всего один проход. После первого и второго режимов РКУП образцы из никелида титана удалось успешно продеформировать, однако произошло разрушение оболочки. После применения третьего режима прессования при комнатной температуре образец разрушился вместе с оболочкой. При этом разрушение происходило после некоторой накопленной степени деформации, поскольку образец разрушилась на 4 примерно равные по длине части. В результате проведения данных экспериментов стала очевидной необходимость подбора другого материала оболочки, способного обеспечить возможность проведения более одного прохода РКУП. В этой связи следующий эксперимент был проведен с использованием оболочки из чистого железа. Кроме того, из-за риска разрушения пуансона при проведении РКУП, длину оболочки уменьшили до 95 мм, а длину заготовки до 85 мм. Другие параметры эксперимента оставили без изменений. В результате при комнатной температуре удалось осуществить один и два прохода без разрушения оболочки. Тем не менее, образцы в обоих случаях разрушились, что свидетельствует о недостаточной пластичности никелида титана при заданных параметрах эксперимента. На данный момент ведутся работы по поиску оптимального соотношения размеров образца и оболочки, а также температуры деформации, необходимых для успешного прессования никелида титана при пониженных температурах с целью формирования полностью нанокристаллической структуры в объемных образцах СПФ Ti-Ni.

Список литературы

- 1 Brailovski V., Prokoshkin S., Khmelevskaya I., Inaekyan K., Demers V., Dobatkin S., Tatyatin E. Mater. Trans. 47 (2006) 795-804.
- 2 Stolyarov V. V., Prokof'ev E. A., Prokoshkin S. D., Dobatkin S. V., Trubitsyna I. B., Khmelevskaya I. Yu., Pushin V. G., and Valiev R. Z. Phys. Met. Metallogr. (2005), 100, 608–612.
- 3 Pushin V. G., Valiev R. Z., Zhu Y. T., Prokoshkin S. D., Gunderov D. V., and Yurchenko L. I., Mater. Sci. Forum 503–504 (2006) 539–544.
- 4 Khmelevskaya I. Y., Prokoshkin S. D., Trubitsyna I. B., Belousov M. N. Dobatkin S. V., Tatyatin E. V., Korotitskiy A.V., Brailovski V., Stolyarov V.V., Prokofiev E. A. Mater. Sci. and Eng. 481 (2008) 119-122.
- 5 Khmelevskaya I.Y., Karelin R.D, Prokoshkin S.D., Andreev V.A., Yusupov V.S., Perkas M.M., Prosvirnin V.V., Shelest A.E., Komarov V.S. Phys. Met. Metallogr. 118 (2017) 279–287.
- 6 Shahmir H., Nili-Ahmadabadi M., Nili-Ahmadabadi M., Langdom G. T., Mater. Sci. Eng., A 576 (2013) 178–184.