

PACS: 61.72.Mm, 81.40.Lm

Н.И. Матросов, Е.А. Павловская, Л.Ф. Сенникова, Э.А. Медведская,  
В.В. Чишко, Б.А. Шевченко

## БОЛЬШИЕ НЕМОНОТОННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ СПЛАВА NbTi: РЕАЛИЗАЦИЯ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины  
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина  
E-mail:chishko@ukr.net

Статья поступила в редакцию 29 ноября 2006 года

*Рассмотрены условия реализации больших ( $e = 19.68-26.24$ ) пластических деформаций методом равноканального многоугольного прессования (РКМУП) в сплаве NbTi, приведены данные об их влиянии на изменение структуры и свойства сплава.*

### Введение

Одной из актуальных тенденций современного материаловедения является формирование наноструктур в материалах с целью достижения их новых свойств. Среди различных методов получения объемных наноструктурных материалов особый интерес представляют методы интенсивной пластической деформации, основанные на накоплении деформации без изменения сечения заготовки [1,2].

Ранее нами [3] рассмотрены закономерности влияния метода РКМУП на структуру и свойства сплава NbTi при многоцикловой (количество циклов до 20) обработке в дробном режиме при накопленной величине деформации  $e \leq 16.4$ . Показана эффективность преобразования структуры (наноструктурирования) под воздействием РКМУП.

Настоящая работа посвящена изучению поведения материала, изменений его структурного состояния и микротвердости при РКМУП, когда большие пластические деформации превышают ранее исследованный диапазон; выяснению условий реализации таких деформаций и оценке при этом деформируемости сплава.

Цель данной работы – реализовать большие ( $e = 19.68-26.24$ ) пластические деформации сплава методом РКМУП, исследовать его упрочнение методом микроиндентирования, изучить оптическими и рентгеноструктурными методами изменения структуры, инициированные большой немонотонной пластической деформацией.

### Материалы и методы исследований

В качестве исходных заготовок использовали горячепрессованные биметаллические прутки сплава ниобий–титан (Nb–60 at.% Ti) в медной (МОб) матрице диаметром 15 mm с заполнением по сплаву  $V_{\text{all}} = 0.5$ . Образцы длиной ~ 80 mm подвергали деформации методом РКМУП без изменения сечения на лабораторной установке, смонтированной на базе гидравлического пресса усилием 250 tf. Экспериментальная технологическая оснастка подробно описана в работе [3]. Исследовали трехугловую схему прессования с четырьмя рабочими деформирующими каналами, пересекающимися под половинными углами  $Q_1 = Q_3 = 80^\circ$  и  $Q_2 = 70^\circ$ , единичной за цикл (проход) интенсивностью деформации сдвига  $\Delta\Gamma = 1.42$  и эквивалентной степени деформации  $e_1 = 0.82$ . Единичные интенсивность и степень деформации, а также накопленную величину деформации определяли согласно рекомендациям работы [4]. Накопление деформации в образце осуществляли повторением циклов прессования от 1 до 32. Максимальная накопленная деформация при этом составила  $e = 26.24$ .

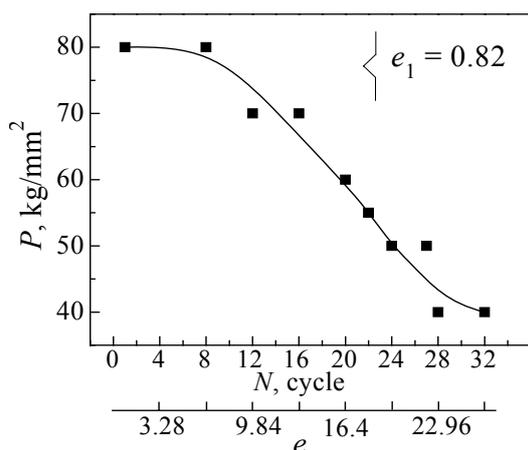
Для целенаправленного формирования равноосной структуры сплава в каждом последующем цикле прессования заготовка переворачивалась на  $180^\circ$  вокруг оси поперечного направления и поворачивалась на  $90^\circ$  вокруг ее продольной оси. Отбор образцов для исследований производили по осуществлению количества циклов (проходов), кратного четырем.

Особенности изменения структуры, уровня микронапряжений кристаллической решетки  $\Delta a/a$ , размера областей когерентного рассеивания  $D_{\text{ОКР}}$  и микротвердости  $H_{\text{ц}}$  изучали с помощью оптического микроскопа «НЕОФОТ», дифрактометра ДРОН-УМ1 с применением качественного и количественного анализов и прибора ПМТ-3 при нагрузке 0.5 N. Погрешность измерений параметров тонкой структуры и микротвердости не превышала соответственно 10 и 2.5%.

### Результаты и их обсуждение

Возможность достижения больших ( $e = 19.68$ – $26.24$ ) накопленных деформаций обеспечивается рациональной наладкой инструментальной оснастки, исключающей возникновение облоя материала в процессе РКМУП между деформирующими элементами (контейнером и втулками) и сохраняющей прямолинейность заготовки после ее проталкивания с возможностью повторного размещения в канале контейнера, а также применением эффективной консистентной смазки, снижающей контактное трение и предотвращающей налипание сплава на стенки деформирующего канала втулок.

Рекомендуется использовать инструментальную оснастку, в которой канал калибрующей втулки выполнен сечением, на 5% меньшим, чем сечение канала контейнера, и высотой ~ 0.75 длины заготовки. Возможность возникновения облоя в процессе прессования между контейнером и втулками уст-



**Рис. 1.** Зависимость давления РКМУП сплава 60Т в меди от накопленной деформации: диаметр заготовки 15 mm, длина 80 mm, заполнение по сплаву 0.5

в процессе ее накопления в материале заготовки при реализации до 32 циклов проталкивания (рис. 1). Наблюдается сложный немонотонный характер величины давления прессования при значительном снижении давления с увеличением суммарной деформации (до двух раз в диапазоне величин  $e = 19.68\text{--}26.24$ ). Характеристики силового режима отражают процессы структурных изменений в деформируемом сплаве и их неоднозначное влияние на контактное трение заготовки с инструментом и сопротивление деформированию.

В процессе изучения влияния накопленной деформации методом РКМУП на структуру и микротвердость сплава выявлены следующие закономерности.

Ранее проведенные нами методами оптической микроскопии исследования микроструктуры сплава NbTi после РКМУП со степенью деформации  $e \leq 16.4$  показали, что структура сплава равноосна и однородна. Текстура деформации практически отсутствует [3]. При накоплении большей величины деформации ( $e = 19.68\text{--}26.24$ ) оптическая микроскопия не выявляет существенных различий в структурном состоянии сплава, кроме степени ее однородности. С повышением степени деформации РКМУП однородность структурных составляющих увеличивается.

Рентгеновские исследования показали, что в указанном диапазоне деформаций дополнительного ожидаемого измельчения структурных элементов не происходит, однако в материале накапливается высокая плотность дислокаций. При больших ( $e = 19.68\text{--}26.24$ ) знакопеременных пластических деформациях методом РКМУП наблюдается существенное повышение уровня микронапряжений кристаллической решетки с  $1.2 \cdot 10^{-3}$  до  $3.5 \cdot 10^{-3}$  (рис. 2,а) и микротвердости сплава с 1520 до 1900 МПа (рис. 2,б).

раняется фиксированным осевым поджатием конструктивных элементов деформирующего блока. В качестве антифрикционного покрытия заготовок может служить смазочный состав на основе воска и дисульфида молибдена.

Выбранные режимы и условия позволили получить качественные образцы с постоянной геометрией (диаметром) сечения при реализации производительного способа «заготовка за заготовкой».

Установлена количественная зависимость давления прессования от величины деформации в

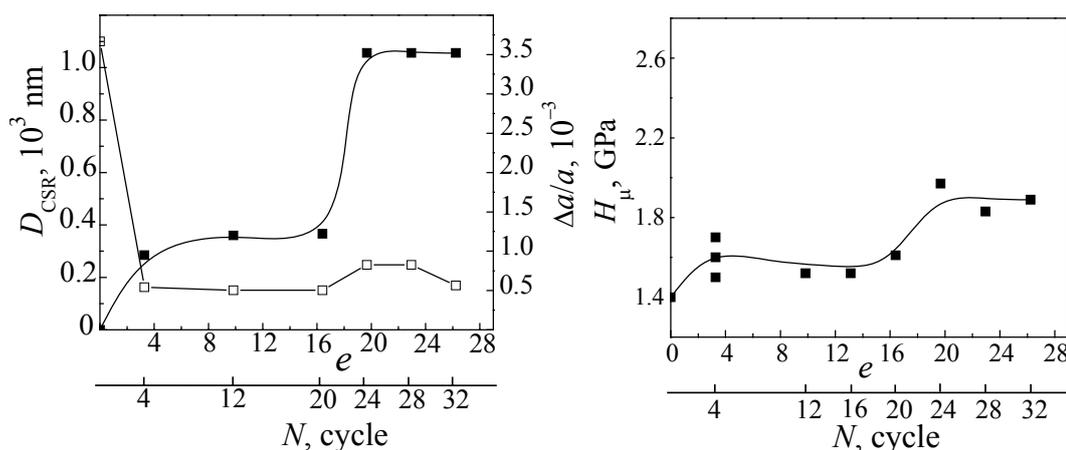


Рис. 2. Зависимость параметров тонкой структуры  $D_{\text{ОКР}}$ ,  $\Delta a/a$  (а) и микротвердости сплава 60Т (б) от величины накопленной деформации РКМУП

Высокую деформируемость образцов обеспечивают, по-видимому, возможность накопления в сплаве высокой плотности дефектов и динамическая рекристаллизация, проявляющаяся в увеличении размера областей когерентного рассеивания от 150 до 250 nm.

Установленное снижение силового режима прессования, снижение сопротивления деформированию можно также предположительно объяснить изменением механизмов пластической деформации и включением в действие (проявлением) механизма зернограничного проскальзывания [5].

### Выводы

1. Определены условия реализации больших пластических деформаций методом РКМУП на биметаллических заготовках сплава ниобий–титан (Nb–60 at.% Ti) в медной (МОб) матрице, достигнута величина накопленной деформации  $e = 26.24$ .
2. В диапазоне деформаций  $e = 19.68–26.24$  формируется качественно новое структурное состояние, которое характеризуется высокой деформируемостью при существенном повышении уровня микронапряжений и микротвердости.

1. Р.З. Валиев, И.В. Александров, Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией, Логос, Москва (2000).
2. L. Olejnik, A. Rosochowski, Bull. Pol. Ac.: Tech. **53**, 413 (2005).
3. В.Н. Варюхин, Н.И. Матросов, Е.А. Павловская, Л.Ф. Сенникова, В.З. Спусканюк, Э.А. Медведская, А.Б. Дугадко, Б.А. Шевченко, Металлофиз. новейшие технол. **27**, 905 (2005).
4. В.З. Спусканюк, А.Б. Дугадко, И.М. Коваленко, Н.И. Матросов, А.В. Спусканюк, Б.А. Шевченко, ФТВД **13**, № 3, 85 (2003).
5. Сверхмелкое зерно в металлах, Металлургия, Москва (1973).

*N.I. Matrosov, E.A. Pavlovskaya, L.F. Sennikova, E.A. Medvedskaya, V.V. Chishko, B.A. Shevchenko*

### HIGH NONMONOTONIC DEFORMATIONS OF NbTi ALLOY: REALIZATION, STRUCTURE AND PROPERTIES

Conditions of realization of high ( $e = 19.68\text{--}26.24$ ) plastic deformations by the method of equal-channel multiple angle pressing (ECMAP) have been considered for NbTi alloy; data on their effect on changes in structure and properties of the alloy are given.

**Fig. 1.** Dependence of the ECMAP pressure of alloy 60T in copper on accumulated strain: billet diameter 15 mm, length 80 mm, alloy filling 0.5

**Fig. 2.** Dependence of fine structure parameters  $D_{\text{CSR}}$ ,  $\Delta a/a$  ( $a$ ) and microhardness of alloy 60T ( $\sigma$ ) on value of accumulated strain after ECMAP