

вых колебаний не изменило механизма деформации, как на участке упрочнения, так и на участке разупрочнения. Отсюда следует, что ультразвуковые колебания изменяют характеристики движения дислокаций (возможно, скорость или плотность дислокаций), не затрагивая природу барьеров для их движения. Однако ультразвуковые колебания существенно уменьшают действующие напряжения и смещают область перехода от стадии упрочнения к стадии разупрочнения в сторону больших деформаций, увеличивая тем самым общую деформацию образца. Это означает, что ультразвуковые колебания облегчают внутризеренную деформацию, которую контролируют диффузионные процессы в материале, и позволяют достигнуть заметно больших деформаций на этой стадии, чем при простом растяжении.

Список литературы

1. Клубович В. В., Степаненко А. В. Ультразвуковая обработка материалов. Мн.: Наука и техника, 1981. 295 с.
2. В.Е. Панин, Е.Н. Каблов, Ю.И. Почивалов, В.В. Колобнев. Физическая мезомеханика, 15, 6, 107-111 (2012).
3. В.В. Благовещенский, И.Г. Панин. ФТТ, 53, 10, 2005 (2011).
4. М.М. Мышляев, М.А. Прокунин, В.В. Шпейзман. ФТТ, 43, 5, 833 (2001).
5. М.М. Мышляев, В.В. Шпейзман, М.М. Камалов. ФТТ, 43, 11, 2015 (2001).
6. В.В. Шпейзман, М.М. Мышляев, М.М. Камалов, М.М. Мышляева. ФТТ, 45, 11, 2008 (2003).

ДЕФЕКТНАЯ СТРУКТУРА И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ РАВНОКАНАЛЬНОМ УГЛОВОМ ПРЕССОВАНИИ (РКУП)

Бетехтин В.И.¹, Sklenicka V.², Нарыкова М.В.¹, Кадомцев А.Г.¹

¹ФГБУН Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия
Vladimir.Betekhtin@mail.ioffe.ru

²Institute of Physics of Materials AS CR, Brno, Czech Republic

Получение и исследование высокопрочных нано и микрокристаллических металлов и сплавов является одним из наиболее актуальных направлений современного материаловедения. Наноструктурные материалы получают, как правило, различными методами больших (интенсивных) пластических деформаций, особенно часто при РКУП. Однако, полученные при интенсивных воздействиях материалы являются по своей природе неравновесными, поэтому для практического использования важное значение приобретает оценка механической устойчивости (долговечности) таких материалов при длительном нагружении.

В данной работе рассмотрены результаты изучения степени деформации (числа проходов) при РКУП на дефектную структуру и долговечность при нагружении в режиме ползучести Al (99,96%), Cu (99,99%), Ti (BT1-0), Al+0.2%Sc, Cu+0.2%Zr, Cu+2%Co, Zr+2,5%Nb.

Оценка параметров неоднородностей электронной плотности (нанопор), образующихся при РКУП, проводилась методом малоуглового рентгеновского рассеяния, а объем нанопор - при прецизионном измерении плотности методом гидростатического взвешивания [1]. Размер зерен и их распределение по разориентации определялись с помощью электронной микроскопии и обратного электронного рассеяния.

Рассмотрим основные экспериментальные данные по влиянию степени деформации при РКУП на долговечность. На рис. 1, 2 показаны подобные данные для меди и её сплава, содержащего частицы Cu_9Zr_2 размером около 5 nm. Видно, что для металла и сплава после первого прохода наблюдается резкий рост долговечности, однако после увеличения числа проходов долговечность также резко падает. Из приведенных данных видно, что для чистой меди рост долговечности после первого прохода примерно в 5 раз больше, чем для её сплава. После 12 проходов долговечность микрокристаллической меди остается в несколько раз больше, чем исходной (крупнозернистой), а долговечность микрокристаллического сплава становится даже меньше исходной, крупнокристаллической. Аналогичные данные были получены для алюминия и его сплава со скандием, содержащего наноразмерные частицы Al_3Sc (таблица 1), сплавов $\text{Cu}+2\%\text{Co}$ (рис.3) и $\text{Zr}+2,5\%\text{Nb}$, а также как показано в [2], Ti (BT1-0).

Полученный результат хорошо объясняется результатами оценки влияния числа проходов при РКУП на нанопористость металлов и сплавов. Эти данные свидетельствуют о том, что в сплавах, содержащих частицы второй фазы объем нанопор, размером порядка десятка нанометров, существенно больше, чем в чистых металлах. К примеру, относительное разуплотнение ($\Delta\rho/\rho$) после первого прохода в чистом алюминии $1,8 \cdot 10^{-3}$, а в сплаве $\text{Al}+0,2\%\text{Sc}$ $6 \cdot 10^{-3}$. Иными словами, наличие частиц второй фазы ведет к более интенсивному образованию при больших пластических деформациях нанопористости. Исследования показали, что образование нанопор не влияет на статические характеристики прочности (например, микротвердость), однако, при длительном нагружении нанопоры являются, очевидно, очагами развития микронесплошностей, ведущих к снижению длительной прочности [3–5].

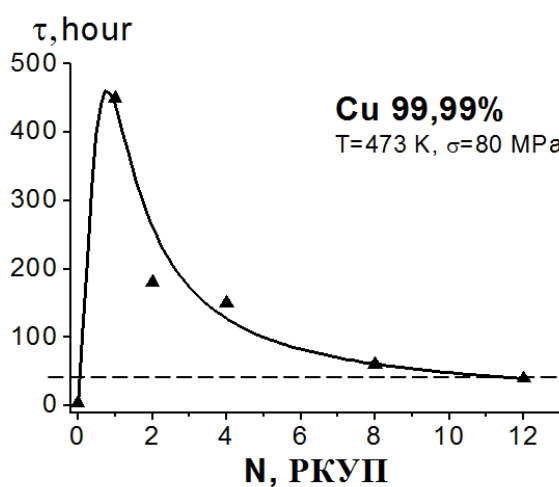


Рис. 1. Зависимость долговечности (τ) от числа проходов (N) для Cu (99,99 %).

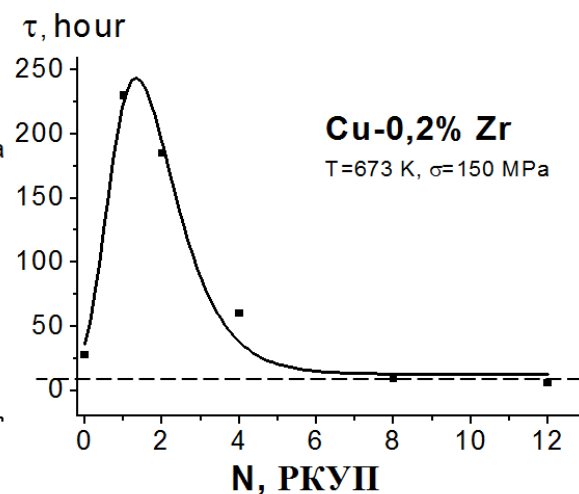


Рис. 2. Зависимость долговечности (τ) от числа проходов (N) для сплава Cu-0,2%Zr.

Таблица 1

Материал	Долговечность, час.				
	N=0	N=1	N=2	N=4	N=8
Al 99,99 % T= 473K, $\sigma = 15$ MPa	4	1070	87	60	60
Al+0,2 % Sc T= 473K, $\sigma = 20$ MPa	900	1400	800	38	7

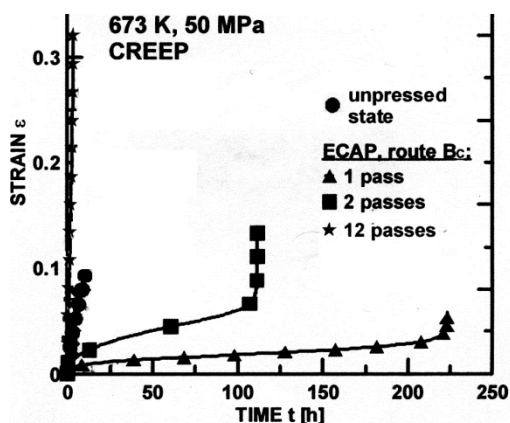


Рис. 3. Кривые ползучести сплава Cu–2% Co после различного числа проходов РКУП

которые являются источниками высоких локальных напряжений. Именно большеугловые границы становятся более эффективными, чем нанопоры, очагами образования в процессе длительного нагружения микротрещин и пор, снижающих долговечность.

Список литературы

1. Нанопористость ультракристаллических алюминия и сплава на его основе / В.И. Бетехтин, А.Г. Кадомцев, V. Sklenicka, I. Saxl // ФТТ. 2007.- Т. 49.- В. 10. - С.1787—1790.
2. Длительная и статическая прочность микрокристаллического титана ВТ1-0, полученного при равноканальном угловом прессовании / Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г., Sklenicka V. и др. // ПЖТФ. – 2015. - Т.41. –В.2.-С. 58-63.
3. Влияние числа проходов при равноканальном угловом прессовании на упруго-пластические свойства, долговечность и дефектную структуру сплава Al+0.2 wt. % Sc / Бетехтин В.И., Sklenicka V., Saxl I. и др. // ФТТ. – 2010.- Т. 52.- В. 8.- С. 1517-1523.
4. Влияние гидростатического давления на дефектную структуру и долговечность ультракристаллического Al / Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г., Sklenicka V., Нарыкова М.В. // ПЖТФ.- 2011.- Т. 37.- В. 20.- С.75-79.
5. [The effect of high hydrostatic pressure on creep behaviour of pure Al and a Cu-0.2wt% Zr alloy processed by equal-channel angular pressing](#) / Dvorak J., Sklenicka V., Betekhtin V.I. et al. // Mater. Sci. Eng. A-Struct. Mater. Prop. Microstruct. Process.- 2013. -Vol.584.- P. 103-113.

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОРОШКОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛ-ОКСИДНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

Витязь П.А.¹, Жорник В.И.¹, Ковалева С.А.¹, Григорьева Т.Ф.², Киселева Т.Ю.³.

¹ Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, sveta_kovaleva@tut.by

² Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³ Московский государственный университет, г. Москва, Россия

Проблема управления реакционной способностью твердых веществ является одной из ключевых в решении задач современного материаловедения. На реакционную способность твердых веществ влияют как внешние факторы (температура, состав окружающей