

05

Влияние противодавления при равноканальном угловом прессовании на образование нанопористости в ультрамелкозернистой меди

© В.И. Бетехтин, Е.Д. Табачникова, А.Г. Кадомцев,
М.В. Нарыкова, Р. Ларовок

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, Россия
Физико-технический институт низких температур НАНУ, Харьков, Украина
Department of Materials Engineering Monash University,
Clayton, Vic. 3800, Australia
E-mail: Vladimir. Betekhtin@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 17 апреля 2011 г.

Методами малоуглового рентгеновского рассеяния и прецизионного измерения плотности установлено, что приложение противодавления в процессе равноканального углового прессования ведет к уменьшению нанопористости ультрамелкозернистой меди и улучшению ее механических свойств.

Интенсивная пластическая деформация (ИПД) приводит к образованию ультрамелкозернистой структуры, что в настоящее время широко используется для улучшения механических свойств металлов и сплавов [1–5]. Одним из наиболее распространенных методов ИПД является равноканальное угловое прессование (РКУП). Однако при РКУП, как показали экспериментальные данные [5–9], возможно образование областей избыточного свободного объема, в предельном случае образование нанопор. Определенный уровень нанопористости может не только нивелировать процесс упрочнения, обусловленный ультрамелкозернистой структурой, но при длительных испытаниях может приводить к снижению долговечности металлических материалов; при этом характеристики механических свойств на уровне микропластической деформации оказываются менее чувствительны к негативному влиянию нанопор [6].

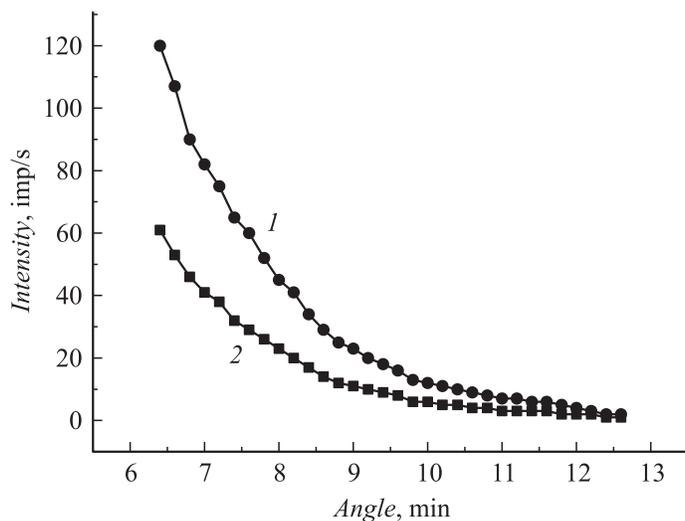
Образование нанопористости, в принципе, может быть уменьшено за счет использования в процессе РКУП системы противодавления. Тенденция к такому уменьшению нанопористости за счет противодавления отмечалась в [7].

В данной работе приведены результаты исследования влияния противодавления при РКУП на образование нанопористости и на некоторые механические свойства чистой меди (99.99%).

Образцы ультрамелкозернистой меди были получены методом РКУП (12 проходов) из исходных заготовок прямоугольного сечения 15×15 mm, длиной 50 mm со средним размером зерен 1 mm, в двух режимах — без противодавления и с противодавлением 250 МПа. Средний размер зерен в ультрамелкозернистой меди после РКУП составлял около 300 nm, причем в случае приложения противодавления наблюдалась тенденция к уменьшению этого размера. Выбор такого числа проходов объясняется тем, что при этом свойства уже практически слабо связаны с их числом, а величина пористости становится достаточной для ее уверенного измерения [6].

Для оценки параметров нанопор использовался модернизированный метод малоуглового рентгеновского рассеяния (MoK_α -излучение, коллимация по Кратки) и метод прецизионного измерения плотности [5,6]. Механические свойства измерялись при 300 K методом одноосного растяжения с постоянной скоростью $2.2 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ на жесткой деформационной машине на образцах, вырезанных в форме лопаток с размерами рабочей части $17 \times 2.5 \times 1.7$ mm. Кроме того, на недеформированных участках образцов (в области захватов на растяжение) на предварительно полированной поверхности при 300 K измерялась величина микротвердости (нагрузка на индентор составляла 200 g).

На рисунке показаны зависимости интенсивности от угла рентгеновского рассеяния для образцов меди после РКУП с противодавлением и без него. В данном диапазоне углов рассеяния различия в его величине для исследованных образцов максимальны. Видно, что зависимости заметно отличаются — интенсивность рассеяния в случае с противодавлением заметно меньше. Обработка данных, согласно [10], показала, что размеры рассеивающих неоднородностей в обоих случаях близки и составляют в предположении достаточно равноосной формы ~ 40 nm. В то же время объемные доли неоднородностей, в предположении их пустотной природы, существенно отличаются и составляют ≈ 1 и $\approx 2\%$ в случае РКУП с противодавлением и без противодавления



Зависимости интенсивности от угла рассеяния для образцов меди после РКУП с противодавлением (1) и без него (2).

соответственно. Отметим, что помимо рассмотренного выше рассеяния наблюдается небольшое и слабо зависящее от условий РКУП рассеяние при довольно больших углах — 30–40 угловых минут. Как и в [11], его природа может быть связана с двойными брэгговскими отражениями, так как наличие слабо разориентированных субзеренных структур отмечалось в [12].

Пустотная природа неоднородностей была подтверждена результатами измерений плотности образцов ультрамелкозернистой меди, полученных РКУП с противодавлением и без него. Так, плотность меди ρ при РКУП без противодействия составила 8.995 ± 0.005 , а с противодавлением $9.089 \pm 0.005 \text{ g/cm}^3$. Следовательно, уплотнение за счет противодействия составляет величину $\Delta\rho/\rho = 0.9\%$, что близко к разнице объемных долей пор, определенной методом малоуглового рентгеновского рассеяния.

Таким образом, измерения плотности и данные, полученные методом малоуглового рентгеновского рассеяния, позволяют сделать вывод о том, что использование противодействия $P = 250 \text{ MPa}$ в процессе

РКУП приводит к существенному подавлению образования деформационной нанопористости.

Очевидно, что это обстоятельство является одним из важных структурных факторов, который может привести к улучшению механических свойств ультрамелкозернистой меди.

Действительно, использование противодавления привело к росту величины микротвердости от 1160 до 1255 МПа, а также к некоторому увеличению значений предела текучести (от 365 до 420 МПа).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-02-00596-а.

Список литературы

- [1] *Сегал М., Резников В.И., Дробышевский А.Е., Копылов В.И.* // Изв. АН СССР. 1981. № 1. С. 115–121.
- [2] *Gleiter H.* // Progr. Mater. Sci. 1989. V. 33. P. 233–247.
- [3] *Валиев Р.З., Александров Г.В.* Наноструктурные металлы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000. 272 с.
- [4] *Tabachnikova E., Bengus V.* // Int. J. Res. (formerly Z. Metallkd.) 2007. V. 98. N 4. P. 339–345.
- [5] *Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г., Sklenicka V., Saxl I.* // ФТТ. 2007. В. 10. С. 1787–1790.
- [6] *Бетехтин В.И., Sklenicka V., Saxl I., Кардашев Б.К., Кадомцев А.Г., Нарыкова М.В.* // ФТТ. 2010. Т. 52. В. 8. С. 1517–1523.
- [7] *Larvok R., Tomys D., Mang J., Estrin Y., Lowe T.C.* // Acta. Mater. 2009. V. 57. P. 2909–2918.
- [8] *Маркушев М.В.* // Материалы V Межд. конф. „Прочность и разрушение материалов и конструкций“. Оренбург, 2008. Т. 1. С. 151–158.
- [9] *Betekhtin V.I., Kadomtsev A.G., Kral P., Dvorak I., Svoboda M., Saxl I., Sklenicka V.* // Mater. Sci. Forum. 2008. V. 567–568. P. 93–96.
- [10] *Guiner A., Fournet G.* Small-Angle Scattering of X-Ray. J. Willey, N.Y., 1955. 236 p.
- [11] *Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г., Амосова О.В., Нарыкова М.В., Копылов В.И.* // Материалы XLIII Межд. конф. „Актуальные проблемы прочности“. Витебск: ВГТУ, 2004. С. 18–22.
- [12] *Мышляев М.М., Шнейзман В.В., Камалов М.М.* // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 11.