

# ИНТЕНСИВНАЯ ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МЕДИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ ЖИДКОГО АЗОТА

Конькова Т. Н.

Россия, г. Уфа, Учреждение Российской академии наук Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, E-mail: [konkova\\_05@mail.ru](mailto:konkova_05@mail.ru)

Получение металлических материалов с размером зерен в десятые и сотые доли микрометра (субмикро- и нанокристаллов) с заданными физико-химическими свойствами является важной проблемой современного материаловедения [1]. На настоящий момент было проведено несколько попыток измельчения размера зерен посредством деформации при температуре жидкого азота [2-4], причем большая часть этих работ была выполнена на высокопластичной меди. Представляется актуальным подробное изучение микроструктуры после криогенной деформации, а также механизмов ее формирования. Данная работа была направлена на тщательную аттестацию микроструктуры меди, подвергнутой низкотемпературной деформации. Для аттестации микроструктуры был привлечен относительно новый метод автоматического анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) [5].

**Материал и методика эксперимента.** В качестве материала исследования использовалась технически чистая (99.9%) медь марки М1. Горячекатаный пруток был разрезан на части диаметром 40 мм и длиной 70 мм и подвергнут мультиосевой деформации в интервале температур 500-300°C. Полученный материал был принят в качестве исходного.

В качестве метода деформации была использована низкотемпературная осадка. Цилиндрические образцы диаметром 24 мм и высотой 60 мм, предварительно помещенные в оболочку из Ст20 с толщиной стенки 8 мм, охлаждались в контейнере с жидким азотом, затем подвергались осадке на гидравлическом прессе ПА-2638 при начальной скорости деформации  $\sim 6 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Степень деформации составляла 88% по высоте, что соответствует истинной деформации  $\epsilon \sim 2.2$ . При описании процесса осадки использовалась система координат, включающая в себя направление осадки (НО) и радиальное направление (РН).

Все микроструктурные исследования осуществлялись при комнатной температуре. Аттестация микроструктуры осуществлялась посредством EBSD. EBSD-анализ проводился при помощи программного обеспечения TSL OIM™, установленного на сканирующем электронном микроскопе с полевым катодом Hitachi S-4300SE.

## Результаты и обсуждение

**Морфология микроструктуры и размер зерен.** Высокорастворяющие EBSD карты микроструктур приведены на рис. 1.

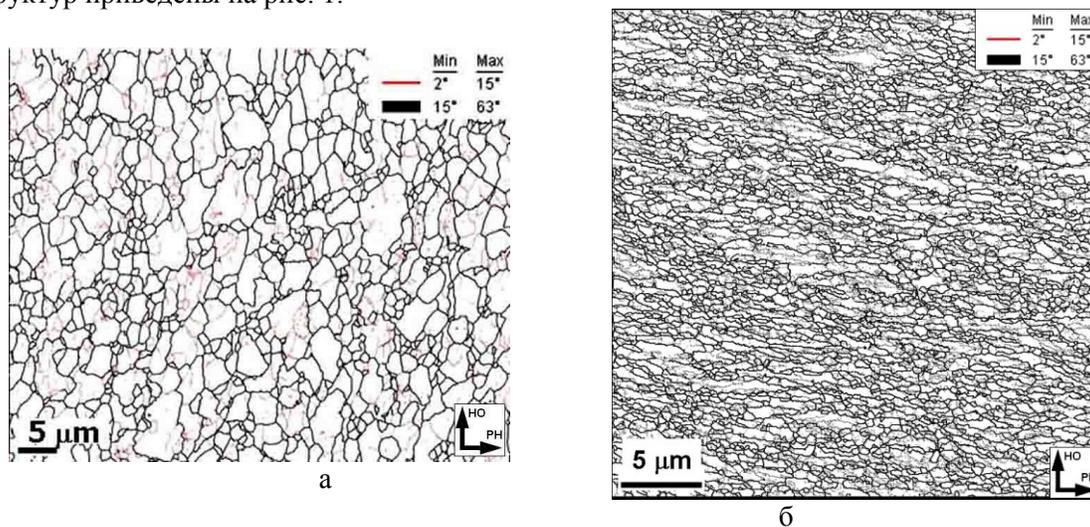


Рис. 1. EBSD карты микроструктуры: (а) исходное состояние; (б) осадка в оболочке

Исходный материал характеризовался структурой со средним размером зерен  $\sim 1.7 \text{ мкм}$  (рис. 1а), долей большеугловых границ  $\sim 59\%$  и слабой “текстурой куба”. Как следует из рис. 1б, микроструктура

после осадки в оболочке, в первом приближении, может быть описана как совокупность относительно крупных (до нескольких мкм) и мелких ( $< 1\text{ мкм}$ ) зерен; в некоторых случаях имеет место “структура ожерелья”. Несмотря на довольно большую степень деформации, НК диапазон размеров зерен не был достигнут. Морфология структуры косвенно свидетельствует о протекании частичной рекристаллизации в ходе/после криогенной деформации. Геометрический эффект (в соответствии с которым зерна деформируются как и весь образец в целом), по-видимому, играет существенную роль в формировании структуры при криогенной деформации. МУГ характеризуются небольшим углом разориентировки, а большеугловые сегменты субгранц встречаются очень редко. По-видимому, процесс фрагментации развивался не интенсивно. В микроструктуре отмечается наличие двойников. Однако их удельная доля не высока, что свидетельствует о малозначительной роли этого механизма в формировании микроструктуры. Обобщая вышесказанное, можно предположить, что формирование структуры в ходе/после криогенной деформации, в целом, контролируется сочетанием геометрического эффекта деформации с процессами рекристаллизации, фрагментации и двойникования.

**Выводы.** В данной работе оценивалась возможность формирования НК структуры в меди посредством низкотемпературной деформации. На основе работы сформулирован следующий вывод.

К числу характерных черт микроструктуры, сформировавшейся в результате низкотемпературной деформации, можно отнести наличие небольшой фракции рекристаллизованных зерен, небольшое содержание двойников и относительно слабую текстуру.

Автор выражает благодарность к.ф.-м.н Миронову С.Ю., д.т.н. Корзникову А.В. за помощь в обсуждении результатов.

#### **Литература.**

[1] Валиев Р.З, Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. - М.: Логос, 2000. 272 с.

[2] Y. Huang, P.B. Prangnell, The effect of cryogenic temperature and change in deformation mode on the limiting grain size in a severely deformed dilute aluminium alloy, *Acta Mater.* 56 (2008) 1619–1632.

[3] Y.S. Li, N.R. Tao, K. Lu, Microstructural evolution and nanostructure formation in copper during dynamic plastic deformation at cryogenic temperatures, *Acta Mater.* 56 (2008) 230–241.

[4] Y. Zhang, N.R. Tao, K. Lu, Mechanical properties and rolling behaviors of nano-grained copper with embedded nano-twin bundles, *Acta Mater.* 56 (2008) 2429–2440.

[5] F.J. Humphreys, Characterisation of fine-scale microstructures by electron backscatter diffraction (EBSD), *Scripta Mater.* 51 (2004) 771–776.