

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

Томск
Издательский Дом ТГУ
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/21

КРИТИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ЗЕРЕН МЕЗОУРОВНЯ

Конева Н.А., Тришкина Л.И., Попова Н.А., Черкасова Т.В.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

Почти все используемые в промышленности материалы являются поликристаллами. Поэтому важно знать влияние размера зерен поликристаллов на их механические свойства. Это касается поликристаллов как микро-, так и мезоуровня. Мезоуровень охватывает интервал размеров зерен от 10 мкм до 1 нм, микроуровень – от 1 мкм до 3 нм. Количественные исследования зеренной структуры и механических свойств поликристаллов микроуровня позволили выделить два критических размера зерен [1]. Это такие средние размеры зерен, в окрестности которых происходят значительные изменения свойств поликристаллического агрегата. На микроуровне установлено существование двух критических размеров зерен. Определим эти размеры.

Первый критический размер зерна на микроуровне связан с соотношением Холла-Петча (Х-П). Классическое соотношение (Х-П):

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad (1)$$

определяет зависимость предела текучести поликристалла σ от размера зерна d . В этом соотношении σ_0 – сопротивление деформированию монокристалла, k – коэффициент Х-П. коэффициент k является важной характеристикой зернограничного упрочнения. В ряде работ установлена зависимость коэффициента Х-П от размера зерна. С уменьшением размера зерна коэффициент Х-П k уменьшается. При некотором малом размере зерна k становится равным нулю и далее с уменьшением размера зерна k становится отрицательным. Первый критический размер зерна d_1^{kp} – такой размер, при котором изменяется знак коэффициента Х-П k . Величина d_1^{kp} для чистых металлов Al, Cu, Ni, Fe, Ti близка к 10 нм [1]. При $d > d_1^{kp}$ $k > 0$ при $d < d_1^{kp}$ $k < 0$. Смена знака коэффициента k означает смену зернограничного упрочнения зернограничным разупрочнением.

Второй критический размер зерна на микроуровне $d_2^{kp} \approx 100$ нм. Это такой размер, когда зерна или субзерна становятся бездислокационными. Внутриверхнее упрочнение исчезает. Из-за малого размера бездислокационные зерна упрочняют микрополикристалл и вносят изменения в механизмы его деформации.

Исследования, выполненные авторами настоящей статьи, показали, что в области мезоуровня также существуют критические размеры зерен. Эшби [2] для установления природы упрочнения поликристаллов ввел понятия геометрически необходимых дислокаций (ГНД) и статистически запасенных (СЗД), так что скалярная плотность дислокаций

$$\rho = \rho_s + \rho_G, \quad (2)$$

где ρ_s – плотность СЗД, ρ_G – плотность ГНД.

ГНД определяют неоднородность деформации и ее градиенты, обусловленные наличием прочных барьеров для движения дислокаций – границ зерен, частиц второй фазы. СЗД тормозятся более слабыми барьерами – другими дислокациями.

В настоящей работе методом просвечивающей дифракционной электронной микроскопии было проведено изучение эволюции дислокационной структуры при деформации ряда поликристаллических материалов (твердые растворы Cu-Al и Cu-Mn, аустенитная сталь 110Г13, стали мартенситного класса). Исследования проводились в широком интервале размеров зерен от 250 мкм до ультрамелкозернистых. Деформация осуществлялась при комнатной температуре растяжением и сжатием со скоростью 10^{-2}с^{-1} . С использованием параметров изгибных экстинкционных контуров были выполнены измерения ρ_G . Методика измерения представлена авторами ранее. Известным методом секущей определялась средняя скалярная плотность дислокаций $\langle \rho \rangle$. С использованием этих данных и соотношения (2) получали значения ρ_s .

Секция 1. Основные принципы и методология физической мезомеханики материалов с иерархической структурой

Из анализа полученных экспериментальных результатов было установлено, что соотношение между ρ_G и ρ_S существенно зависит от размера зерен (см. рис. 1).

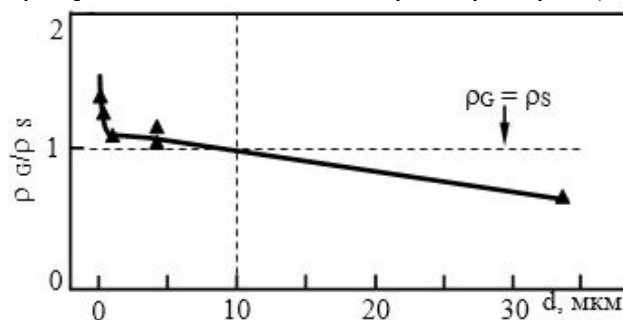


Рис.1. Соотношение ρ_G/ρ_S в зависимости от размера (d) зерен и субзерен.

Вертикальный пунктир обозначает критический размер зерен.

В области мезоуровня размеров зерен в дислокационном ансамбле преобладают СЗД. При этом доля ГНД с уменьшением размера зерна возрастает. При достижении размера зерен $d \approx 10$ мкм устанавливается соотношение $\rho_G = \rho_S$. При дальнейшем уменьшении размера зерен доля ГНД в дислокационном ансамбле растет, и при приближении к размеру зерен 200...300 нм дислокационная структура полностью реализуется ГНД ($\rho \approx \rho_G$). Таким образом, в области мезоуровня размеров зерен установлено существование критического размера зерна $d_3^{kp} \approx 10$ мкм. Если $d > d_3^{kp}$ в дислокационном ансамбле преобладают СЗД. При $d < d_3^{kp}$ плотность ГНД больше плотности СЗД. В этих условиях формируется градиентная дислокационная структура, обеспеченная полями напряжений от дисклинаций, расположенных в границах зерен и тройных стыках.

Было установлено, что в области мезоуровня размеров зерен есть еще один критический размер $d_4^{kp} \approx 100$ мкм. При $d > 100$ мкм скорость накопления дислокаций с деформацией резко ослабевает. При этом размер дислокационных ячеек слабо зависит от размера зерен. При $d > 100$ мкм кривизна кристаллической решетки почти не зависит от размера зерен. На рисунке 2 представлены зависимости параметров дефектной структуры сплава Cu + 0.4 ат.% Mn от размера зерен.

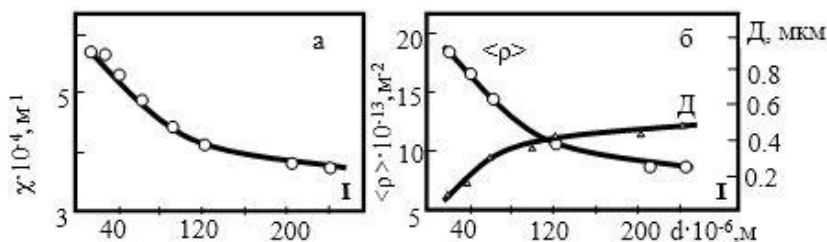


Рис. 2. Зависимости кривизны-кручения кристаллической решетки χ (а), плотности дислокаций ($\langle \rho \rangle$), размера ячеек (D) от размера зерна $\langle d \rangle$. Сплав Cu + 0.4 ат.% Mn.

$\epsilon_{ист} = 0.60$, $T_{деф} = 293$ К.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что при достижении $d_4^{kp} \approx 100$ мкм основную роль в накоплении дефектов при деформации играют внутризеренные процессы, роль границ зерен ослабевает. С этим согласуется поведение механических характеристик. Так, коэффициент деформационного упрочнения на стадии II (θ_{II}) при $d > 100$ мкм почти не зависит от размера зерен. При $d < 100$ мкм θ_{II} резко возрастает с уменьшением размера зерен.

Исследования выполнены при поддержке государственного задания на проведение научных исследований по проекту №3.8320.2017/БЧ.

1. Glezer A.M., Kozlov E.V., Koneva N.A., Popova N.A., Kurzina I.A. Plastic Deformation of Nanostructured Materials. – London, New York: CRC Press., 2017. – 321 p.
2. Ashby M.F. // Philos. Mag. – 1970. – V.21. – №170. – P.399-424.