

УДК 669.35:539.214

DOI: 10.17223/00213411/63/5/58

*Н.А. КОНЕВА<sup>1</sup>, А.И. ПОТЕКАЕВ<sup>2</sup>, Л.И. ТРИШКИНА<sup>1</sup>, Т.В. ЧЕРКАСОВА<sup>1,3</sup>, А.А. КЛОПOTOB<sup>1,2</sup>*

## РОЛЬ КРИТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН ПОЛИКРИСТАЛЛОВ МЕЗОУРОВНЯ В ХОДЕ ДЕФОРМАЦИИ В СЛАБОУСТОЙЧИВОМ СОСТОЯНИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Методом просвечивающей дифракционной электронной микроскопии показано, что в слабоустойчивом состоянии в ходе деформации при переходе от одной стадии упрочнения к другой в качестве характеристики с критическими значениями может выступать размер зерна поликристаллов. Для этого изучены дислокационные и дислокационно-дисклинационные субструктуры в деформированных растяжением поликристаллах ГЦК-сплавов твердых растворов Cu–Al и Cu–Mn с размерами зерен 20–240 мкм. Установлены взаимозависимости параметров, характеризующих субструктуру дефектов, и среднего размера зерен. Проведено сопоставление этих зависимостей со структурно-фазовым состоянием сплавов. На основе анализа установлено существование критического размера зерен в области мезоуровня  $d \approx 100$  мкм. При размерах более 100 мкм основную роль в накоплении дефектов при деформации играют внутризеренные процессы. Коэффициент деформационного упрочнения на стадии II при  $d > 100$  мкм почти не зависит от размера зерен, а при  $d < 100$  мкм он резко возрастает с уменьшением размера зерен.

*Ключевые слова:* металлы, сплавы, деформация, слабоустойчивые состояния, размер зерна.

### Введение

Большинство металлов и сплавов используются в виде поликристаллов, поэтому для прогнозирования механических свойств важно знать взаимное влияние размера зерен поликристаллов и структурно-фазовое состояние системы. Это касается поликристаллов как микро-, так и мезоуровня. Мезоуровень охватывает интервал размеров рассматриваемых объектов (в данном случае зерен) от 10 мкм до 1 мкм, а микроуровень – от 3 нм до 1 мкм [1]. 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. Так как «под слабоустойчивым состоянием системы понимается такое ее состояние вблизи структурного или фазового превращения, в котором наблюдаются аномалии структуры или свойств» [2–6], то это ярко выраженное слабоустойчивое структурно-фазовое состояние системы. При этом наблюдается хорошо просматриваемая взаимосвязь слабоустойчивого структурно-фазового состояния системы с количественными особенностями поведения характеристик структуры (в данном случае – средние размеры зерен).

Первый критический размер зерна на микроуровне  $d_1^{\text{кр}}$  связан с соотношением Холла – Петча (Х–П):  $\sigma = \sigma_0 + kd^{-1/2}$ , где  $\sigma_0$  – сопротивление деформированию монокристалла;  $k$  – коэффициент;  $d$  – размер зерна.

Коэффициент  $k$  является важной характеристикой зернограничного упрочнения. С уменьшением размера зерна коэффициент  $k$  уменьшается [7], причем  $k > 0$  при  $d > d_1^{\text{кр}}$  и  $k < 0$  при  $d < d_1^{\text{кр}}$ . Смена знака коэффициента  $k$  означает смену зернограничного упрочнения на зернограничное разупрочнение. При этом резко возрастает роль зернограничных процессов в деформации, к которым относятся диффузионные процессы на границах зерен (ГЗ), скольжение решеточных и зернограничных дислокаций по ним, миграция ГЗ и т.д.

Второй критический размер зерна на микроуровне  $d_2^{\text{кр}} \approx 100$  нм связан с тем, что зерна или субзерна становятся бездислокационными. Внутризеренное упрочнение исчезает. Из-за малого размера бездислокационные зерна упрочняют микрополикристалл и вносят изменения в механизмы его деформации.

В области мезоуровня размеров зерен установлено существование критического размера зерна  $d_3^{\text{кр}} \approx 10$  мкм. Если  $d > d_3^{\text{кр}}$ , в дислокационном ансамбле преобладают статистически запасенные дислокации [8]. При  $d < d_3^{\text{кр}}$  плотность геометрически необходимых дислокаций больше плотности статистически запасенных. В этих условиях формируется градиентная дислокационная структура, обеспеченная полями напряжений от дисклинаций, расположенных в границах зерен и тройных стыках.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>