

УДК 539.37

DOI: 10.17223/00213411/62/12/81

*Т.А. КОВАЛЕВСКАЯ<sup>1,2</sup>, О.И. ДАНЕЙКО<sup>1,2</sup>*

### **ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО СДВИГА В ГЕТЕРОФАЗНЫХ СПЛАВАХ С ДИСПЕРСНЫМИ НЕКОГЕРЕНТНЫМИ ЧАСТИЦАМИ \***

С использованием математического моделирования проведено описание и теоретический анализ зоны сдвига – мезоуровня пластической деформации дисперсно-упрочнённых кристаллических материалов с алюминиевой матрицей и некогерентными частицами. Исследование проведено с учётом микроуровня – формирования линейных и точечных деформационных дефектов, – с выходом на макроуровень – описание поведения кривых напряжения течения. Показано, что размер зоны сдвига уменьшается с ростом степени деформации во всех исследуемых материалах с упрочняющими частицами различных размеров. В среднем диаметр зоны сдвига практически не зависит от масштабных характеристик упрочняющей фазы. Выявлено, что формирование и накопление в зоне сдвига различных видов дислокаций в значительной мере определяется размером частиц.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, дисперсно-упрочнённые материалы, пластическая деформация, наноразмерные частицы, деформационное упрочнение, плотность дислокаций.

#### **Введение**

Композиционные материалы различного типа широко используются в современной промышленности. Актуальным остаётся применение композитов на основе металлической матрицы, упрочнённой второй фазой. Удобным и универсальным инструментом исследования является математическое моделирование, которое позволяет варьировать характеристики дисперсно-упрочнённого материала и воздействия на него в широких пределах, что практически невозможно сделать экспериментально.

В работе использовалась математическая модель пластической деформации скольжением дисперсно-упрочнённых материалов с алюминиевой матрицей и некогерентными недеформируемыми сферическими частицами [1–7]. Целью данной работы является исследование формирования зоны сдвига при пластической деформации материала с упрочняющими частицами различной дисперсности. Объёмная доля частиц варьируется в небольших пределах ( $f_1 = 10^{-4} \%$ ,  $f_2 = 0.01 \%$ ,  $f_3 = 0.1 \%$ ), при этом в рамках фиксированной объёмной доли размеры частиц  $\delta$  варьируются в наномасштабном диапазоне ( $\delta = 10, 20$  и  $50$  нм).

#### **Математическая модель пластической деформации**

Мезоуровень пластической деформации кристаллических материалов обеспечивается формированием зоны сдвига – серии сдвигообразующих дислокационных петель, испущенных одним источником, вместе с сопутствующими им деформационными дефектами (точечными и линейными). Размер  $D$  зоны сдвига зависит от плотности сдвигообразующих дислокаций  $\rho_m$  и величины формируемого напряжения  $\tau$  в зоне сдвига [1, 8, 9]:

$$D = \frac{B}{Gb} \frac{\tau}{\rho_m},$$

где  $B$  – безразмерный параметр, определяемый вероятностью образования дислокационных барьеров, ограничивающих зону сдвига;  $G$  – модуль сдвига матрицы;  $b$  – модуль вектора Бюргерса. В модели предполагается, что процесс деформации осуществляется в идентичных зонах сдвига, при этом деформационные дефекты различных зон сдвига взаимодействуют между собой. Предполагается, что все деформационные дефекты однородно распределены в объёме деформируемого тела. Таким образом, деформационно-дефектная структура, сконцентрированная непосредственно в зонах сдвига, заменяется однородной деформационно-дефектной средой, которая содержит такое количество дефектов каждого типа, как и все зоны сдвига, вместе взятые.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-13-01252).

Уважаемые читатели!

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

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