

РОЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ И ВНУТРЕННИХ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА В СОПРОТИВЛЕНИИ ПОЛЗУЧЕСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ

Д.В. Борисюк, Т.Ф. Елсукова

Научный руководитель: ст. н. с., д. ф-м. н. Т.Ф. Елсукова
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: dasha.94.5165@mail.ru

При одноуровневом описании деформируемого твердого тела принято считать, что первичное пластическое течение связано с движением дислокаций в кристаллической решетке. Из ротационных мод деформации рассматривается только формирование ячеистых дислокационных субструктур, в которых разориентация ячеек увеличивается с ростом степени деформации. Однако в реальных условиях, когда нарушается трансляционная инвариантность кристаллической решетки и изменяется ее метрика, развивается широкий спектр ротационных мод деформации.

В настоящей работе анализ закономерностей ползучести поликристаллов проводится на основе представлений физической мезомеханики, рассматривающей деформируемое твердое тело как многоуровневую, нелинейную, иерархически организованную систему, состоящую из двух самостоятельных подсистем: 3Д-кристаллической и 2Д-планарной, включающей поверхностные слои и все внутренние границы раздела. Рассмотрение поверхностных слоев и внутренних границ раздела как самостоятельной функциональной 2Д-планарной подсистемы приводит к заключению, что все деформационные дефекты зарождаются на интерфейсах 3Д-кристаллической и 2Д-планарной подсистем, где возникают зоны локализованной кривизны кристаллической структуры. При этом структурные трансформации в 2Д-планарной подсистеме играют ведущую функциональную роль.

Работа посвящена исследованию функциональной роли планарной подсистемы в рамках многоуровневого описания пластической деформации поликристаллов при ползучести, когда интенсивно развивается зернограничное скольжение.

Материалом исследования является высокочистый поликристаллический алюминий А999. Он характеризуется высокой сдвиговой устойчивостью кристаллической решетки вследствие высоких значений модуля сдвига G (270 ГПа) и энергии дефекта упаковки γ (250 мДж/м²).

Плоские образцы в виде двойной лопатки с размером рабочей части (37×8×1,2) мм³ готовили из листового проката с последующим отжигом при 240°C 30 мин. Полированную поверхность образцов для структурных исследований получали электролитической полировкой. Для измерения зернограничного скольжения (ЗГС) и распределения деформации по поликристаллу на поверхность образцов перед испытанием наносили координатную сетку. Испытания на ползучесть проводили в условиях растягивающей нагрузки при температуре 50 °С и различных напряжениях (9–13 МПа). Удлинение образцов измеряли индикаторами часового типа с точностью ±1 мкм. Структурные изменения на разных стадиях ползучести изучали методами оптической (Neophot-21) и интерференционной (New View 6200) микроскопии.

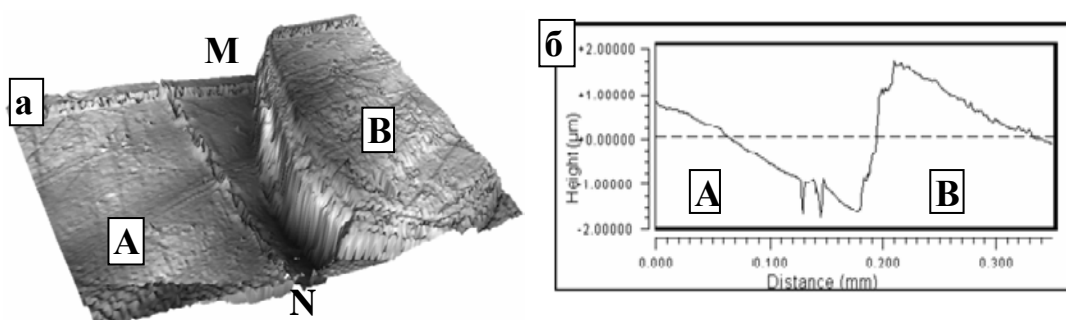


Рис. 1. Зернограничное скольжение зерен А и В при ползучести: а) профиль поверхности, нормальный к MN, $\times 500$, б) интерференционная профилограмма

На рисунке 1 представлена структура границы зерен, испытывавших зернограничное скольжение, нормальное к поверхности плоского образца (ЗГС_⊥). На этой границе выявлена система индивидуальных вертикальных полос скольжения высотой около 3 мкм.

На рисунке 2 отчетливо видна связь вертикальных полос на границе зерен А и В, испытывавших ЗГС_⊥, и протяженных мезополос локализованного скольжения в поверхностном слое зерна В. Это свидетельствует о том, что вертикальные полосы на границе MN являются генераторами мезополос на поверхности зерна А.

На рисунке 3 представлен стык трех зерен, где видно, что зерно А вызывает сильное ЗГС в зоне ОО' зерна В и возникновение кривизны поверхности зерна С.

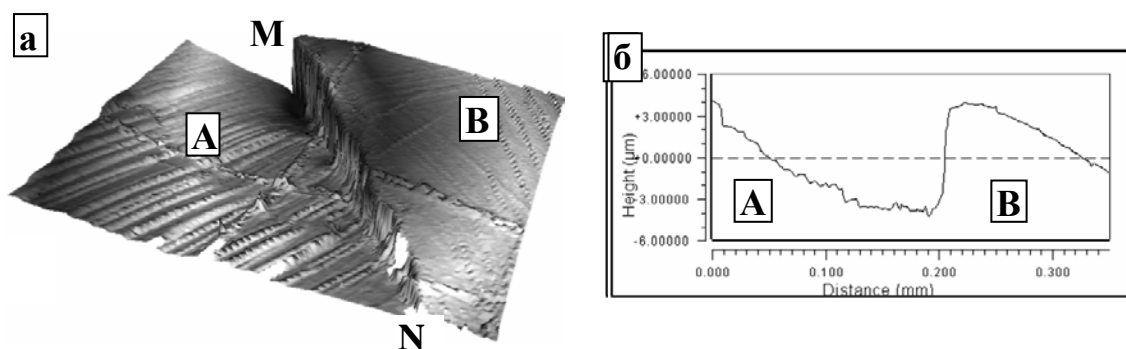


Рис. 2. Самосогласованное развитие зернограничного скольжения вдоль границы MN и образование полос локализованной деформации в зерне A: а) профиль поверхности, нормальный к MN, $\times 500$, б) интерференционная профилограмма

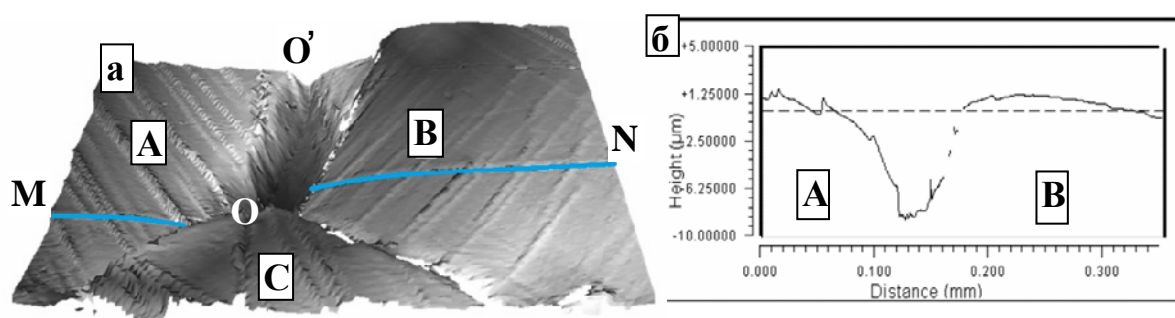


Рис. 3. Тройной стык зерен A-B-C; зернограничное скольжение вдоль OO'; а – профиль поверхности, нормальный к OO', $\times 500$, б – интерференционная профилограмма

Таким образом, экспериментально показано, что зернограничное скольжение при ползучести поликристаллов высокочистого алюминия является ведущим процессом трансляционно-ротационного скольжения. С ним связана многоуровневая генерация дислокаций на интерфейсе «2Д-граница зерна – 3Д-кристаллическое зерно». Движение дислокаций в зернах является аккомодационным трансляционно-ротационным процессом. Многоуровневая самоорганизация всех видов трансляционно-ротационных процессов обуславливает развитие сильной неупругой кривизны кристаллической структуры алюминия при ползучести, что существенно снижает его пластичность в условиях ползучести.