ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/136

ПРЯМАЯ ДВУХУРОВНЕВАЯ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ: ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ СВОБОДНЫХ ГРАНИЦ ОБРАЗЦА

Янц А.Ю., Токарев А. А., Трусов П.В.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Исследование роли поверхности образца в процессах деформирования и разрушения образцов интенсивно проводятся с начала 20 века [1] после открытия А.Ф.Иоффе эффекта повышения пластичности и прочности каменной соли в воде [2]. Позднее эффект влияния поверхностно активных веществ был экспериментально подтвержден на деформации металлов Al, Cu, Pb, Sn, Zn [3].

В [4] показано, что сдвиг инициируется сначала у поверхности, после чего распространяется вглубь кристалла. В процессе усталостного нагружения железа просвечивающей микроскопией показано [5] существенное отличие дислокационной структуры в поверхностных и глубинных областях кристалла. Следы скольжения внутри кристалла имеют следы множественного поперечного скольжения, сегменты извилисты и содержат многочисленные пороги, тогда как дислокационная структура в поверхностном слое лишена этих признаков. Данный факт позволяет предположить, что скольжение зарождается на поверхности и распространяется вглубь кристалла. При этом отмечается, что в поверхностных слоях наблюдается повышенная плотность дислокаций вплоть до глубины 30 мкм.

Для исследования влияния свободной поверхности на деформирование образцов в работе использована прямая упруговязкопластическая модель [6]. Для решения краевой задачи деформирования поликристаллического образца предложено использовать метод конечных элементов в скоростной постановке [7]. Весь образец сначала разбивается на множество зерен с плоскими границами (с помощью пакета перер), после чего производится разбиение на конечные симплекс элементы (с помощью пакета gmsh), которое учитывает наличие внутренних границ. Каждому конечному элементу ставится в соответствие однородный кристаллит, поведение которого описывается упруговязкопластической моделью [6]. Зерна в начальном состоянии являются однородными: ориентации кристаллитов одного зерна одинаковы в начальном состоянии. Начальные ориентации кристаллографических осей зерен выбирается по равномерному случайному закону.

Влияние внешних свободных границ учитывалось путем снижения начальных критических касательных напряжений в системах скольжения, которые имеют выход на фасетку свободной границы. Для оценки снижения напряжения был использован подход дислокаций изображения [8]. В результате чего было получено соотношение для снижения критических касательных напряжений в системе скольжения кристаллита кубической формы с ребром g , грань которого параллельна свободной границе, ближайшая точка которого находится на расстоянии R от свободной границы (рис. 1):

$$\tau_{c0}^{dec} = \frac{\mu b}{2\pi(1-\nu)} \frac{\ln((R+r)/R)}{R+r} = \frac{\mu b}{2\pi(1-\nu)} \frac{\ln(1+r/R)}{R+r}. \quad (1)$$

Для оценки влияния свободных границ на процесс неупругого деформирования был проведен численный эксперимент по одноосному растяжению двух поликристаллических агрегатов (30 зерен, 121290 КЭ) кубической формы отличающихся только масштабом: ребра куба были равны 200мкм и 50мкм. В результате численных экспериментов было показано, что в образце меньшего масштаба происходит более интенсивное фрагментирование зерен (за счет поворотов частей зерна друг относительно друга). При анализе было выявлено, что возникновение внутризеренных границ в изначально однородном зерне происходит от свободной поверхности образца и проникает вглубь образца с течением процесса.

Рис. 1. а) Схематичное изображение кристаллита линейным размером g , на расстоянии R от свободной поверхности. б) Зависимость доли снижения критических касательных напряжений(1) (ось ординат) в кристаллитах различного размера (от 5 до 50 мкм), принадлежащих одному зерну, от расстояния центра кристаллита до свободной поверхности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-31-70027, гранта Президента РФ МК-2970.2019.1, Минобрнауки РФ (базовая часть государственного задания ПНИПУ, проект № FSNM-2020-0027).

1. Баранов Ю.В. Эффект А.Ф. Иоффе на металлах: монография. М.: МГИУ. 2005. 136 с.
2. Иоффе А.Ф. Физика кристаллов. Ленинград-Москва: ГосНТИ. 1929. 90с.
3. Горюнов Ю.В., Перцов Н.В., Сумм Б.Д. Эффект Ребиндера. М.: Наука. 1966. 120 с.
4. Гилман Г. Дислокации и механические свойства кристаллов. М.: Иностранная литература. 1960. С 82-116.
5. Набарро Ф.Р., Базинский З.С., Холт Д.Б. Пластичность чистых монокристаллов. М.: Metallurgy. 1967. 80 с.
6. Трусов П. В., Швейкин А. И. Многоуровневые модели моно- и поликристаллических материалов: теория, алгоритмы, примеры применения. Новосибирск: Издательство СО РАН. 2019. 605 с.
7. Поздеев А.А., Трусов П.В., Няшин Ю.И. Большие упругопластические деформации: теория, алгоритмы, приложения. – М.: Наука, 1986. 232 с.
8. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М.:Атомиздат 1972г. 600 с.