

УДК 539.213:669.017

DOI: 10.17223/00213411/64/4/44

Ю.А. ХОН

ФРАГМЕНТАЦИЯ ЗЕРЕН В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ. МЕЗОСКОПИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ *

Предложена модель фрагментации зерен в деформируемых поликристаллах, в которой твердое тело рассматривается как открытая неравновесная система. Структурная релаксация системы определяется процессами на мезоскопическом масштабном уровне. В рамках метода фазового поля получена система двух нелинейных уравнений, описывающих структурную релаксацию среды. Рассмотрена динамика зарождения границы зерна.

Ключевые слова: поликристаллы, пластическая деформация, структурная релаксация, локализация деформации, фрагментация.

Введение

При деформации поликристаллов в стесненных условиях (кручение под высоким давлением, равноканальное угловое прессование и др.) наблюдается фрагментация зерен [1–6]. Интерес к этому явлению обусловлен, прежде всего, тем, что оно лежит в основе методов получения поликристаллических материалов с размером зерен от единиц до сотен нанометров с уникальными механическими свойствами. Для сравнительно крупных зерен рассматриваются три стадии фрагментации. На первой стадии образуются границы разориентированных областей кристаллической решетки или блоков. На второй эти границы превращаются в малоугловые субграницы фрагментов. На третьей стадии образуются большеугловые границы зерен. Имеется критический размер зерен, ниже которого фрагментация не происходит, а формируется стационарное наноструктурное состояние с равноосными зернами. Дислокации в теле зерен, как правило, не наблюдаются. Качественное описание первых двух стадий фрагментации зерен поликристалла проводится обычно на основе дислокационных и дисклинационных моделей. Обоснованием такого объяснения служит наблюдение дислокационного скольжения в теле зерна. В работе [7] подчеркивалось, что кроме дислокаций необходимо учитывать точечные дефекты, концентрация которых в межзеренном пространстве может достигать значений, характерных для предплавленных температур. Происхождение такой высокой концентрации точечных дефектов остается неясным. Особую сложность представляет рассмотрение большеугловых границ зерен. Условия их зарождения и механизмы фрагментации до сих пор не выяснены.

Возможная причина этих трудностей состоит в ограниченности используемых в теории пластической деформации подходов. Дело в том, что твердое тело под нагрузкой представляет открытую систему ядер и электронов и находится в смешанном состоянии [8], которое можно рассматривать как некогерентную смесь чистых состояний (состояний изолированной системы). Чистые состояния твердого тела различаются химической связью между атомами, ближним порядком, потенциальной энергией. С точки зрения теории открытых систем распределение атомов в твердом теле при деформации можно рассматривать как совокупность кластеров ближнего порядка в различных чистых состояниях. К их числу принадлежит и ближний порядок, характерный для переохлажденной жидкости. Кластеры ближнего порядка типичны, в частности, для неравновесных границ зерен. При заданной величине и скорости деформации в каждый момент времени реализуется та совокупность кластеров ближнего порядка, при которых потенциальная энергия понижается. С точки зрения открытых систем зарождение и развитие новой границы зерна отражает процессы релаксации неравновесной системы, определяемые и колебательными, и электронными степенями свободы. В существующих подходах рассматриваются только колебательные степени свободы. Отсюда следует, что механизм фрагментации зерен принципиально не отличается от других механизмов деформации, различие обусловлено лишь величиной приложенной к системе внешней силы.

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0011.

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>