УДК 539.374

Физика твердого тела, том 28, в. 7, 1986
Solid State Physics, vol. 28, № 7, 1986

ЭФФЕКТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Б. К. Барахтин, В. И. Владимиров, С. А. Иванов, И. А. Овидько, А. Е. Романов

В настоящее время в физике пластичности господствуют представления о монотонном развитии дислокационной структуры (от хаотической до блочной и фрагментированной) в процессе деформирования твердого тела [1, 2]. С другой стороны, перестройки структуры часто осуществляются неоднородно: сначала они происходят в небольших объемах — зародышах, которые в процессе деформации растут и в конце концов заполняют весь объем системы [3]. Недавно был выявлен и исследован новый эффект периодического изменения физико-механических свойств (микротвердости H_V и др.) деформируемого материала, что может быть связано

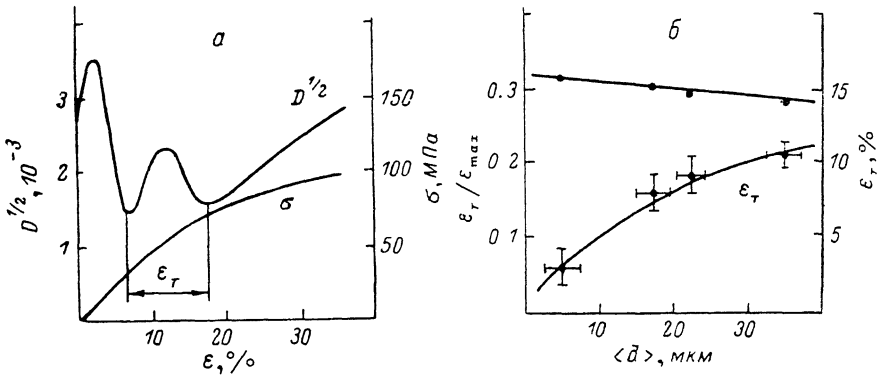

Рис. 1. Изменение параметров структуры с деформацией и размерами зерна.
а — дисперсия D и напряжение σ с деформацией ε, *б* — период колебаний ε_T и отношение периода к деформации до разрушения $\varepsilon_T/\varepsilon_{max}$ с размером зерна d.

с немотонным поведением ансамбля дислокаций [4]. Кроме этого в прямом (электронно-микроскопическом) эксперименте было также обнаружено периодическое изменение неравноосности фрагментов, причем период колебаний $\varepsilon_T \sim 0.2$ по пластической деформации ε совпадал с периодом изменения H_V [5]. В [6] впервые сообщалось о наблюдении «in situ» колебаний дисперсии D упругой деформации с периодом того же порядка.

Наличие всех этих опытных фактов дает основание полагать, что периодическое изменение дислокационной структуры обусловлено некоторой общей закономерностью. В настоящей работе этот эффект исследуется при деформации алюминия в условиях активного нагружения. Предлагается модель, объясняющая эффект периодического изменения дислокационной структуры на основе представлений о ротационной неустойчивости пластической деформации.

Экспериментальная часть работы включала съемку профиля дифракционных линий образцов отожженного алюминия АВ—О, растягиваемых (одноосно) со скоростью $\dot{\varepsilon} \sim 10^{-3}$ с$^{-1}$. Измерения выполнялись на одном из каналов ускорителя ВЭПП-3 ИЯФ СО АН СССР с помощью дифракционной станции, оснащенной позиционно-чувствительным детектором. Применение синхротронного излучения и быстродействующей анализирующей аппаратуры позволило производить съемку малого участка образца $\sim 10^2$ мм^2 и регистрировать кадры «рентгеновского кино» за время 5 с при интегральной интенсивности линий не менее 10^5 импульсов.

После начала пластического течения угловое положение дифракционных пиков практически не менялось, поэтому за критерий наличия перестроек в структуре материала было выбрано изменение формы и ширины линий. В качестве эталона всегда использовался исследуемый образец до приложения нагрузки. Проводилась съемка дифракционных линий (200) и (400), по которым, согласно известной методике [7], определялась дисперсия упругой деформации $D=\langle\varepsilon^2\rangle-\langle\bar{\varepsilon}_e\rangle^2$, связанная с дисперсией внутренних напряжений. Типичные кривые $D(\varepsilon)$ для образцов с различным размером d представлены на рис. 1. Эти кривые показывают, что колебания есть во всех случаях, причем период колебаний ε_T уменьша-

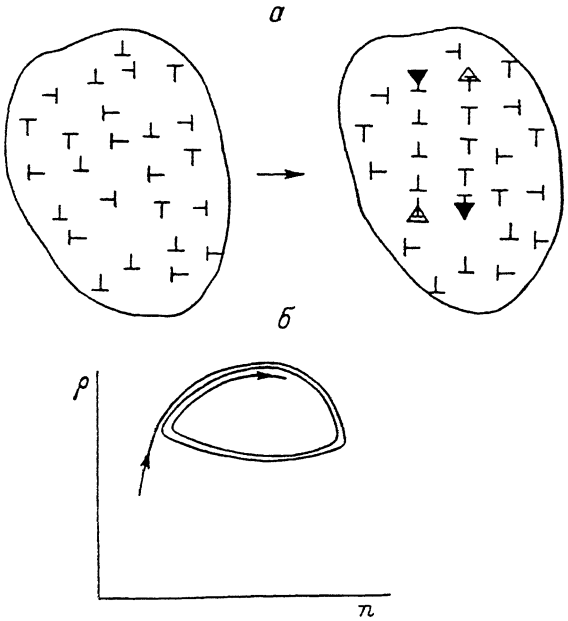

Рис. 2. Изменение дислокационной структуры с пластической деформацией.

а — схема перестройки дислокационной структуры в ротационную, *б* — изменение n и общей плотности дислокаций $\rho=\rho_a+\rho_н$, где $\rho_н$ — плотность неактивных (неучаствующих в перестройках) дислокаций.

ется при уменьшении d. Для одного и того же материала общее число колебаний до разрушения постоянно.[1]

Для объяснения результатов эксперимента предлагается модель, основанная на представлениях об одном из наиболее важных коллективных дислокационных эффектов — ротационной неустойчивости ансамбля дислокаций [3]. В рамках модели дислокационная структура деформируемого твердого тела испытывает очаговые перестройки, при которых часть хаотически распределенных дислокаций собирается в конечные стенки, т. е. зародыши ротационной деформации (рис. 2, *а*). В результате развитие дефектной структуры идет лавинообразно: имеющиеся дисклинационные дефекты способствуют формированию новых зародышей [8]. В ходе этого процесса внутренние напряжения (и, как следствие, дисперсия D) уменьшаются из-за уменьшения числа источников напряжений — хаотически распределенных дислокаций. С увеличением деформации упорядоченная структура охватывает большую часть объема. При этом ротационные элементы теряют активность — число дисклинационных диполей, способных инициировать ротационную деформацию в соседних объемах, уменьшается со скоростью L. Структура становится неустойчивой, и дислокации, размножаясь, вновь хаотически распределяются по всему объему образца, вызывая увеличение внутренних напряжений и т. д. Таким образом, возникают периодические изменения дислокационной струк-

[1] Из опытов на других металлах следует, что общее число колебаний до разрушения зависит от материала. Например, в Cu число колебаний до разрушения равно 4.

туры, уравнения кинетики которой в соответствии с предлагаемой моделью имеют вид

$$\dot{\rho}_a = A\rho_a - B\rho_a^2 - R\rho_a n; \quad \dot{n} = J\rho_a n - Ln, \tag{1}$$

где ρ_a — плотность активных (участвующих в перестройках) дислокаций, n — число зародышей упорядоченной структуры на единицу объема, A, B, R, J, L — постоянные коэффициенты. Качественно эволюция параметров системы, удовлетворяющих (1), представлена на рис. 2, *б*, свидетельствующем о периодическом изменении дефектной структуры в процессе деформации.

На основании результатов настоящей работы можно сделать следующие выводы. Периодичность в возникновении неустойчивости дислокационной структуры ответственна за наблюдаемые ее изменения и, как следствие, за периодические изменения внутренних напряжений и других характеристик деформируемого твердого тела. Немонотонность есть типичная черта пластической деформации. Можно сделать также предположение, что каждый материал выдерживает до разрушения вполне определенное число колебаний дефектной структуры, соответствующее числу возможных активных ротационных систем, осуществляющих динамическую релаксацию.

Литература

[1] *Трефилов В. И., Мильман Ю. В., Фирстов С. А.* Физические основы прочности тугоплавких металлов, Киев: Наукова думка, 1975. 315 с.
[2] *Лихачев В. А., Рыбин В. В.* Вестник ЛГУ, 1976, № 1, с. 90—96; № 7, с. 103—108.
[3] *Romanov A. E., Vladimirov V. I.*, Phys. St. Sol. (a), 1983, vol. 78, № 1, с. 11—34.
[4] *Вишняков Я. Д.* Современные методы исследования структуры деформированных кристаллов. М.: Металлургия, 1975. 480 с.
[5] *Лапин А. Б.* Автореф. канд. дис. М., ВЗМИ, 1984, 21 с.
[6] *Барахтин Б. К., Иванов С. А.* Изв. вузов, Физика, 1982, № 8, с. 107—109.
[7] *Васильев Д. М.* Дифракционные методы исследования структуры. М.: Металлургия, 1978. 248 с.
[8] *Владимиров В. И., Романов А. Е.* ФТТ, 1984, т. 26, № 2, с. 610—612.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН
СССР Ленинград

Поступило в Редакцию
18 октября 1985 г.
В окончательной редакции
17 января 1986 г.

УДК 548.3

Физика твердого тела, том 28, в. 7, 1986
Solid State Physics, vol. 28, № 7, 1986

ПОДВИЖНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ В ЧИСТЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СВЕТОМ

Н. Н. Горобей

Экспериментально установлено, что облучение светом сильно влияет на подвижность дислокаций [1]. Поэтому интенсивно изучают их механизмы движения при облучении светом [2, 3]

В данной работе рассмотрено термоактивированное движение дислокаций в чистых полупроводниках (в которых перемещение дислокаций осуществляется путем термоактивированного зарождения парных перегибов характерной длины l и последующего мгновенного бокового распространения одиночных перегибов вдоль дислокационной линии [4]) при возбуждении светом электронно-дырочных пар из глубоких дислокационных состояний, приводящих к увеличению подвижности дислокаций. В работе также учитывается влияние релаксации электронно-дырочных пар на характер движения дислокаций, что ранее не делалось.