

ДИНАМИКА СКОПЛЕНИЙ
ЗАРЯЖЕННЫХ ДИСЛОКАЦИЙ. ЭКСПЕРИМЕНТ

Ю. И. Головин, А. А. Шибков

В [1-3] показано, что пластическая деформации ЩГК сопровождается генерацией низкочастотных (НЧ) в полосе частот 0—10 кГц и высокочастотных (ВЧ) в полосе более 2.5 МГц импульсов дипольного момента (ИДМ), которые связывались с динамикой ансамбля заряженных дислокаций и развитием процессов разрушения соответственно. В настоящем сообщении приводятся результаты прямого исследования динамики отдельных полос скольжения (ПС) в LiF методом анализа ИДМ, динамической фотоупругости (ДФУ) и двойного травления. Источником ПС в монокристаллических образцах размером $2 \times 4 \times 12$ мм (содержание примесей $3 \cdot 10^{-3} \% \text{ Me}^{2+}$, заряд дислокаций $q = -6 \cdot 10^{-12}$ Кл/м [4]) служил концентратор напряжения в виде поверхностной ступеньки, образованной при сильно несимметричном скалывании кристалла (рис. 1). Динамика развития ПС, инициированной прямоугольным импульсом сжатия длительностью $t_p = 10^{-3}$ с и временем фронта $t_f = 10^{-4}$ с, регистрировалась методом ДФУ с помощью сверхскоростной кинокамеры СФР-2М. Одновременно пьезодатчиком измеряли форму импульса нагрузки, а двумя емкостными зондами по методике, описанной в [2], динамическую поляризацию.

Экспериментально моделировались некоторые элементарные ситуации, типичные для различных стадий деформирования кристалла скольжением: развитие одиночной ПС, переизлучение ее поверхностью, взаимодействие двух и более ПС, прорыв ПС через барьер и др. Наиболее характерными оказались следующие три.

1. На рис. 1 (кривые 1, 2) представлен случай зарождения и развития незавершенной краевой ПС от поверхностной ступеньки, когда полоса стартует спустя $t \approx 0.8 t_f$ и ее развитие происходит на «крыше» импульса нагрузки при $\tau \approx \text{const}$. Согласно формы ИДМ $P(t)$ с наблюдавшейся на стадии легкого скольжения в [2, 3] и почти полное ее совпадение с временной зависимостью длины ПС $L(t)$, фиксируемой методом ДФУ, непосредственно свидетельствуют о том, что причиной импульсной электрической поляризации этих кристаллов является распространение ПС. Нелинейный рост $L(t)$ характеризует наличие двух стадий в формировании ПС: быстрой, продолжительностью $\sim 50 \div 100$ мкс, в течение которой вершина ПС разгоняется до $\dot{L} \sim 10$ м/с, и следующей за ней медленной ($\dot{L} \leq 1$ м/с), которая завершается при $\tau = 0$. Согласно [2], $P(t)$ пропорционально площади $S(t)$, заматаемой избытком дислокаций одного механического знака. Поэтому наблюдавшееся синхронное изменение P и L во времени свидетельствует о постоянстве отношения $S(t)/L(t)$ в любой момент времени, т. е. об автономности процесса развития ПС. Кроме того, сопоставление этих зависимостей позволяет извлечь информацию о динамическом распределении дислокаций в ПС. Анализ, использующий выражения из [2], показывает, что при синхронном поведении $L(t)$ и $P(t)$ функция линейной плотности дислокаций в ПС $\rho(X)$ должна быть близкой к гиперболической $\rho \sim 1/X$ (здесь X — координата дислокаций в ПС относительно источника), что качественно соответствует результатам экспериментальной [5] и теоретической [6] работ по динамике ПС при термоактивационном характере движения дислокаций и не согласуется с динамическими моделями в вязком приближении [7]. Этот вывод подтверждается и самой двухстадийностью эволюции полосы, которая следует из термоактивационной модели [4] и экспериментов в различных кристаллах [8, 9].

2. При завершеном сдвиге обнаружены следующие особенности динамики ПС и поляризации. Приближение головы ПС L_1 , растущей из источ-

ника I (рис. 1), к свободной поверхности, как правило, приводило к замедлению ее роста или инициированию источника II (царапина, ступенька и т. п.), из которого зарождалась ПС L_2 , распространявшаяся антипараллельно ПС L_1 (позиция 3). Это вызывало уменьшение уровня $P(t)$, а при увеличении нагрузки — и инверсию его знака (позиция 4). Источником II для вторичной ПС, очевидно, может служить и ступенька, образующаяся при выходе ПС L_1 на поверхность. Такой «эстафетный» механизм расширения ПС [10] при завершеном сдвиге способен конкурировать с двойным поперечным скольжением. Возможно, этот процесс и является причиной инверсии знака заряда, выносимого дислокациями на поверхность при глубоком деформировании, наблюдавшейся в [11–13].

3. При «пробивании» полосой барьера (состаренная ПС в перпендикулярной плоскости) наблюдалась временная остановка головы ПС на препятствии, которая, однако, не сопровождалась полным падением

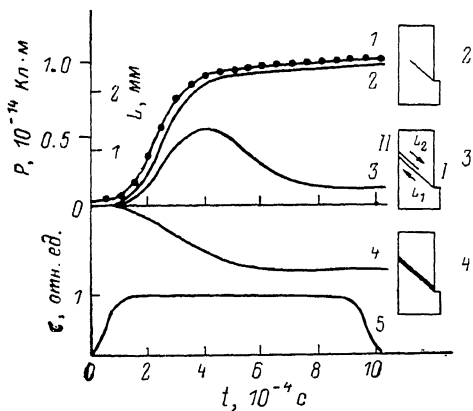


Рис. 1. Временные зависимости длины полосы скольжения при незавершеном сдвиге (I) и дипольного момента кристалла (2–4) при последовательно увеличивающейся амплитуде импульсов механической нагрузки (5).

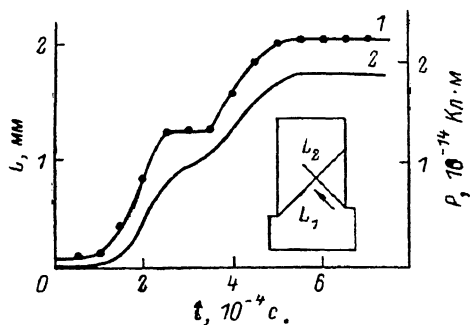


Рис. 2. Кинетика изменения длины полосы скольжения (I) и соответствующего дипольного момента (2) при пересечении другой полосы скольжения.

роста ДМ (рис. 2). Это означает, что а) после остановки головной группы на препятствии движение остальных дислокаций в ПС продолжается за счет их перераспределения, что согласуется с [14]; б) причиной несоответствия временных зависимостей $L(t)$ и $P(t)$ является, по-видимому, нарушение автомодельности процесса роста ПС: при смене режима свободного распространения скопления (торможении на препятствии, его прорыве и т. д.) меняется соотношение между S и L .

В образцах, сформированных на 1.5–2 %, кроме перечисленных случаев корреляции НЧ ИДМ с динамикой отдельных ПС, наблюдались и ВЧ ИДМ с характерным временем нарастания < 1 мкс. Часть этих импульсов связана с образованием трещин миллиметровых размеров, что непосредственно подтверждается результатами кинофильмирования по характерной фотоупругой розетке в вершине трещины. Обнаружено, что появление в кристалле растущей трещины существенным образом влияет на динамику ПС: инициирует работу новых источников ПС или, наоборот, блокирует рост существующих ПС (в зависимости от их взаимного расположения). Поэтому наряду с быстрыми скачками ДМ трещинообразование обычно сопровождалось немонотонными и невоспроизводимыми от опыта к опыту НЧ флуктуациями ДМ. Небольшая часть ВЧ ИДМ не была связана с зарождением трещин и не вызывала последующих НЧ ИДМ. По-видимому, она обусловлена электрическими пробоями между наэлектризованными участками образца с разными потенциалами.

Таким образом, получено прямое экспериментальное доказательство физической интерпретации ИДМ в пластически деформируемых ШГК:

НЧ ИДМ вызваны движением скоплений заряженных дислокаций, а ВЧ ИДМ — эволюцией трещин и электрическими разрядами. Показано, что метод динамической поляризации позволяет идентифицировать элементарные события в пластически деформируемом ионном кристалле на уровне макротрещин, отдельных скоплений, полос скольжения и исследовать их динамические характеристики.

Л и т е р а т у р а

- [1] Головин Ю. И., Дьячек Т. П., Усков В. И., Шибков А. А. ФТТ, 1985, т. 27, № 2, с. 555—557.
- [2] Головин Ю. И., Шибков А. А. ФТТ, 1986, т. 28, № 11, с. 3492—3499.
- [3] Головин Ю. И., Шибков А. А. Кристаллография, 1987, т. 32, № 5, с. 1206—1210.
- [4] Головин Ю. И., Дьячек Т. П. Кристаллография, 1987, т. 32, № 6, с. 1372—1380.
- [5] Бойко Ю. Ф., Лубенец С. В., Остапчук Е. И. В кн.: Динамика дислокаций. Киев: Наукова думка, 1975, с. 145—161.
- [6] Зайцев С. И., Надгорный Э. М. ФТТ, 1979, т. 21, № 11, с. 3349—3351.
- [7] Head A. K. Phil. Mag., 1972, vol. 26, N 1, p. 47—72.
- [8] Neuhäuser H. In: Dislocations in Solids. Amsterdam, 1983, vol. 6, p. 320—440.
- [9] Клявин О. В. Физика пластичности кристаллов при гелиевых температурах. М.: Наука, 1987. 255 с.
- [10] Рабухин В. Б. Поверхность, 1986, № 8, с. 138—141.
- [11] Цаль Н. А., Спитковский И. М., Струк Я. А. ФТТ, 1982, т. 24, № 7, с. 2166—2169.
- [12] Куличенко А. Н., Смирнов Б. И. ФТТ, 1984, т. 26, № 11, с. 3294—3299.
- [13] Сергеев В. П., Масленников С. А., Зуев Л. Б. ФТТ, 1985, т. 27, № 7, с. 2125—2128.
- [14] Gerstle E. P., Dvorak G. I. Phil. Mag., 1974, vol. 29, N 11, p. 1337—1346.

Тамбовский государственный
педагогический институт
Тамбов

Поступило в Редакцию
5 апреля 1988 г.