

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРЕЩИНЫ  
С ДИСЛОКАЦИОННЫМИ АНСАМБЛЯМИ РАЗНЫХ ТИПОВ

И. Ю. Прохоров, Г. Я. Акимов, А. В. Макиевский

УДК 539.219; 539.4

Явление взаимодействия трещины с дислокационной структурой кристалла изучено достаточно широко [1-3]. Принято считать, что трещина не взаимодействует с краевыми дислокациями, перпендикулярными ее поверхностям, а винтовые дислокации тормозят ее, оставляя за собой ручьевые ступеньки, увеличивающие поверхность разрушения. Дислокации же, лежащие параллельно фронту трещины, препятствуют ее распространению тем сильнее, чем больше их число и чем больше доля дислокаций одного знака в нем; различные дислокационные ансамбли при этом могут давать больший или меньший эффект [4]. Рожденные трещиной дислокации, по данным [5], могут облегчать ее распространение.

Тем не менее изменение вязкости разрушения  $K_{Ic}$  в тех или иных дислокационных структурах до сих пор не продемонстрировано, несмотря на практическую важность этого вопроса. По экспериментальным данным [2, 3] можно оценить величину  $K_{Ic}$  лишь для некоторых дислокационных структур (NaCl): исходная дислокационная структура (малоугловые субграницы),  $K_{Ic} = 0.35$  МПа · м<sup>1/2</sup>; одиночная полоса скольжения,  $K_{Ic} = 0.56$  МПа · м<sup>1/2</sup>; пачки полос скольжения,  $K_{Ic} = 0.75$  МПа · м<sup>1/2</sup>; «иррациональный двойник»,  $K_{Ic} = 0.73$  МПа · м<sup>1/2</sup>. Взаимодействие трещины с дислокационными границами наклоне и кручения исследовано в [6]. Максимальный эффект здесь оценивается в 100%.

Настоящая работа посвящена экспериментальному измерению  $K_{Ic}$  для ряда других дислокационных структур, созданных всесторонним сжатием высоким гидростатическим давлением (ВГД) и распространением трещины под ВГД, а также изгибом в разных конфигурациях при нормальных условиях.

Образцы NaCl размерами 4 × 10 × 30 мм изготавливались путем скалывания из отожженных монокристаллических блоков с пределом текучести 8 МПа, герметизировались в тонких резиновых оболочках и подвергались всестороннему сжатию давлением 1.8 ГПа в среде масла «индустриальное-20». Травление обнаружило сильную пластическую деформацию, складывавшуюся из дислокационных петель на однородно распределенных частицах примеси [7] и полос скольжения, обусловленных негидростатичностью жидкости при таких давлениях.

Исходные трещины длиной 7—12 мм вводились по методу [5] перед всесторонним сжатием. Испытания на  $K_{Ic}$  проводились по методу ДКБ аналогично [8]. Исходная величина вязкости разрушения для данного материала составляла 0.41 МПа · м<sup>1/2</sup>. Обработанные ВГД образцы обнаружили  $K_{Ic} = 0.97$  МПа · м<sup>1/2</sup>, что согласуется с результатами [3] для пачек полос скольжения.

Такой же образец NaCl был помещен без оболочки в контейнер ВГД и нагружен аналогично [8] при давлении жидкости 0.65 ГПа. После начала развития трещины и ее прорастания на несколько миллиметров образец был разгружен. Дислокационная структура имела вид полос скольжения по обеим сторонам трещины, подобный «мягким» образцам NaCl в [5], причем непосредственно перед вершиной трещины дислокационные образования отсутствовали. Хотя,

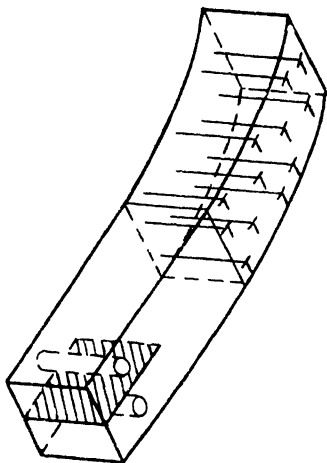


Рис. 1. Типичная геометрия опыта по взаимодействию трещины с дислокационной структурой на примере зоны изгиба, представляющей собой однородную плотность краевых дислокаций одного знака.

Образец имеет форму двужонсольной балки (ДКБ) с отверстиями для захватов.

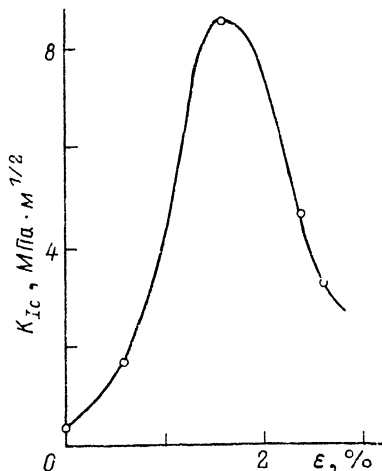


Рис. 2. Вязкость разрушения  $K_{IC}$  монокристаллов NaCl при разных деформациях изгиба, перпендикулярного плоскости трещины (рис. 1).

согласно [5], в подобных случаях дислокации должны понижать  $K_{IC}$ , «выталкивая» трещину, при дальнейшем скалывании образца на воздухе был получен  $K_{IC} = 0.41 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ , совпадающий с исходным.

Такие же образцы NaCl были подвергнуты деформации на воздухе трехточечным изгибом вдоль меньшего ребра так, что база изгиба (14 мм) занимала лишь одну половину каждого образца, тогда как во вторую, неизогнутую, вводилась трещина и сверлились отверстия. Дислокационная структура в таких условиях представляла собой «иррациональный двойник», ограниченный двумя сбросами. В отличие от [3] эти двойники, представляющие собой ансамбли краевых дислокаций с плотностью около  $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ , лежали перпендикулярно плоскости трещины и, согласно [1], не должны были взаимодействовать с ней. Тем не менее полученные значения  $K_{IC}$  составили 0.21 и 0.25  $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ , что значительно меньше исходного.

Образцы NaCl размерами  $6 \times 6 \times 30$  мм изготовлялись скалыванием из тех же блоков, полировались водой, а потом раствором воды и  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в метиловом спирте в весовом отношении 11 : 22 : 67 с интенсивной промывкой в бутиловом спирте и деформировались трехточечным изгибом с базой 14 мм до разных степеней деформации. Тщательная полировка поверхности позволила достигнуть в некоторых случаях деформаций до 3–4% (рис. 1). Дислокационная структура изогнутых образцов представляла собой равномерно распределенную по половине образца плотность краевых дислокаций одного знака (до  $10^7 \text{ см}^{-2}$ ) с характерными разрежениями вблизи субграниц.

Изогнутые образцы раскалывались резким ударом перпендикулярно дислокационным линиям; затем в неизогнутой части сверлились отверстия, вводилась трещина и производилось испытание на  $K_{IC}$ . Результаты представлены на рис. 2. При деформации изгиба 1.6% вязкость разрушения повысилась более чем на порядок. После прохождения трещины дислокационная структура приобретала вид обычных полос скольжения, идущих от трещины.

Таким образом, введение даже в не проявляющий особой дислокационной активности при нормальных условиях материал достаточно высокой плотности

свободных краевых дислокаций одного знака (дислокаций изгиба) позволяет управлять вязкостью разрушения в широких пределах.

### Список литературы

- [1] Louat N. // Proc. 1st Int. Conf. on Fracture. Sendai, Japan, 1965. Tokyo: Jap. Soc. for Strength and Fracture of Materials. 1966. V. I. P. 117—132.
- [2] Финкель В. М., Муратова Л. Н., Иванов В. П. // ФТТ. 1973. Т. 15. № 6. С. 1917—1919.
- [3] Финкель В. М., Муратова Л. Н., Иванов В. П. и др. // ФТТ. 1974. Т. 16. № 1. С. 284—286.
- [4] Финкель В. М. Физические основы торможения разрушения. М.: Машиностроение, 1977. 366 с.
- [5] Koizumi H., Suzuki T. // Phys. Stat. Sol. (a). 1981. V. 68. N 2. P. 579—588.
- [6] Финкель В. М., Иванов В. П., Серeda В. Е. и др. // ФТТ. 1974. Т. 16. № 3. С. 945—947.
- [7] Redfern B. A. W., Evans R. A., Wronski A. S. // J. Mater. Sci. 1970. V. 5. N 9. P. 784—789.
- [8] Akimov G. Ya., Prokhorov I. Yu. // Phys. Stat. Sol. (a). 1983. V. 79. N 2. P. 423—431.

Донецкий физико-технический институт  
АН Украины

Поступило в Редакцию  
19 февраля 1992 г.

© Физика твердого тела, том 34, № 12, 1992  
Solid State Physics, vol. 34, N 12, 1992

## ОПТОМАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

А. Ф. Кабыченков

Световая волна (СВ) создает в магнетике эффективные магнитные поля <sup>[1]</sup>. Эти поля могут изменить степень упорядоченности магнитной подсистемы и, следовательно, ее энтропию. Разупорядочение сопровождается поглощением, а упорядочение — выделением энергии. Если магнетик теплоизолирован, то энергия либо черпается из упругой подсистемы, либо наполняет ее. В результате температура магнетика соответственно понижается или повышается.

Изменение температуры  $T$  прозрачного магнитоупорядоченного вещества под действием поля монохроматической СВ определяется следующим дифференциальным соотношением:

$$dT = -\frac{T}{C} \left[ \left( \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial T} \right)_{\rho, e, h} d \left( \frac{e_i e_j}{16\pi} \right) + \left( \frac{\partial \mu_{ij}}{\partial T} \right)_{\rho, e, h} d \left( \frac{h_i h_j}{16\pi} \right) \right], \quad (1)$$

где  $e$  и  $h$  — комплексные амплитуды электрического и магнитного полей СВ,  $C \equiv C_{\rho, e, h}$  — теплоемкость магнетика при постоянных плотности,  $e$  и  $h$ .

Тензор диэлектрической проницаемости имеет вид

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^{(0)} + ie_{ijk} (\alpha_{kn} M_n + \alpha'_{kn} M_n) + \beta_{ijkn} M_k M_n + \beta'_{ijkn} M_k H_n + \beta''_{ijkn} H_k H_n, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{ij}$  — тензор диэлектрической проницаемости парамагнитной фазы в отсутствие внешнего магнитного поля  $H$ ;  $e_{ijk}$  — единичный антисимметричный тензор;  $\alpha_{kn}^{(0)}$  и  $\beta_{ijkn}^{(0)}$  — тензоры кругового и линейного двулучепреломления, значения которых берутся на частоте света;  $M_n$  — компоненты вектора магнитного момента. Аналогичный (2) вид имеет и тензор магнитной проницаемости  $\mu_{ij}$ . Из (1) и (2) следует, что оптомагнитокалорический эффект будет максимальным в областях аномальной температурной зависимости  $M_n(T)$ , а также  $\alpha_{kn}^{(0)}(T)$  и  $\beta_{ijkn}^{(0)}(T)$ . Зависимость  $M_n(T)$  имеет особенность вблизи фазовых переходов (ФП) как типа «порядок» — «беспорядок», как и типа «порядок» — «порядок» [2, 3].