

ческую решетку, в результате чего могут измениться как константа анизотропии хромовой подсистемы, так и редкоземельный вклад за счет $f-d$ -обмена. Поэтому в данном случае пользоваться формулой (1) с параметрами обменного расщепления, такими же как в NdCrO_3 , по-видимому, нельзя.

Таким образом, исследование разбавленных ортохромитов неодима помогло выявить существенный вклад в константу анизотропии ван-Флековского механизма, обусловленного $f-d$ -взаимодействием нижнего дублета ионов Nd^{3+} с возбужденными уровнями, причем $K_{\text{ВФ}}^{bc}$ превалирует над анизотропией Cr-подсистемы.

Отметим важность ван-Флековского вклада в константу анизотропии в ac -плоскости (K^{ac}) и для NdFeO_3 , где $K_{\text{ВФ}}^{ac}$ может быть сравнимо с $K_{\text{ВФ}}^{bc}$ и противоположно по знаку. Именно в этом предположении можно объяснить высокое значение температуры переориентации в NdFeO_3 и ее смещение в замещенных составах, несмотря на малую величину обменного расщепления основного дублета ($\Delta_{\Gamma_2} = 1.6 \text{ K} [^2]$).

Л и т е р а т у р а

- [1] Белов К. П., Кадошцева А. М., Овчинникова Т. Л., Тимофеева В. А., Усков В. В. ФТТ, 1971, т. 13, № 3, с. 631—632.
- [2] Hornreich R. M., Jaeger J. Int. J. Mag., 1973, vol. 4, N 1, p. 71—76.
- [3] Hornreich R. M., Komel J., Nolan R. et al. Phys. Rev., 1975, vol. B 12, N 11, p. 5094—5104.
- [4] Белов К. П., Звездил А. К., Кадошцева А. М., Левитин Р. З. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1979. 317 с.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
29 января 1988 г.

УДК 539.4.019.3

Физика твердого тела, том 30, в. 6, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 6, 1988

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЦ НАКЛОНА НА ЗАЛЕЧИВАНИЕ ТРЕЩИН В ЦГК

В. М. Финкель, Н. В. Дорохова

Возможность залечивания трещин рассматривается в ряде работ [1, 2]. Имеется, однако, лишь единственная статья [3], посвященная экспериментальному исследованию качества восстановления сплошности кристаллов NaCl в окрестности субграней (СГ) с разворотом до $1'$. Целью настоящей работы явилось более подробное выявление роли межблочных границ в реанимации материала.

Образцы выкалывались по плоскости спайности из блоков монокристаллов LiF и NaCl . Для определения углов разориентировки субграней использовался гониометр ГС-2 и стандартная методика химического травления. Трещина зарождалась лезвием в плоскости (001) и залечивалась посредством одноосных механических усилий или гидростатическим сжатием при давлениях до 1.2 кбар. Угол θ парьировался от секунд до 2.5° .

Возникло предположение, что в плоскости залеченной трещины вдоль границ должна образовываться невязка. Для поиска и визуализации несомкнутых участков применялись различные методы. Наиболее удобным оказалось исследование на просвет кристалла с залеченной трещиной. Вскрытые участки регистрировались по интерференционной картине, а расстояние между берегами оценивалось по порядку интерференционного максимума. Было обнаружено три группы невязок: вдоль суб-

границ, ступеней скола и скольжения. Высота их составляла соответственно 0.1—0.3, 0.2—0.5 и 0.05—0.1 мкм при максимальной ширине 50, 20 и 15 мкм. Ступеньки скола шли в целом вдоль направления разрушения, ступеньки скольжения — перпендикулярно ему. Зачастую все типы вскрытий встречались в сложном сочетании друг с другом.

Рассмотрим влияние собственно наклонной границы на процесс реанимации. Трещина в ЩГК, помимо моды нормального разрыва, имеет еще и моду продольного сдвига. Последняя в наших условиях играет решающую роль и лучше всего проявляется на торцевой поверхности, поэтому оценим ситуацию именно в этой плоскости (рис. 1, а). Между поверхностями разрушения на всем протяжении границы образуется зазор высотой $h=2(a \sin \alpha) \operatorname{tg} \theta/2$, где a — величина смещения берегов трещины в районе границы, θ — угол разориентировки блоков, α — угол между границей и направлением сдвига. Следовательно, при любом θ между берегами возникает невязка. Исключение составляет случай, когда граница параллельная направлению сдвига (рис. 1, б).

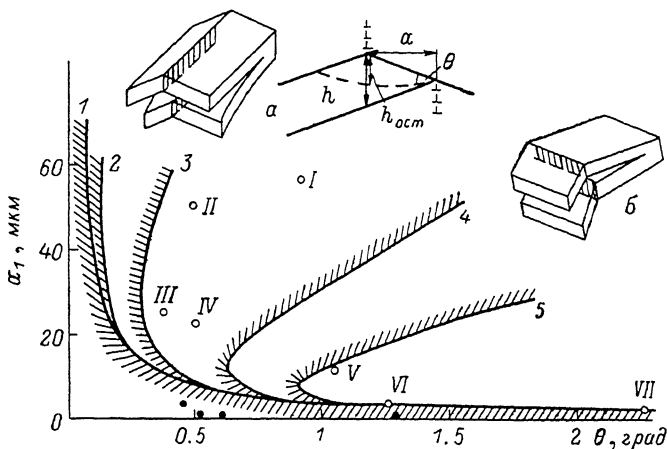


Рис. 1. Зависимость $a_1\theta - a_1^2/2R = 0.06$ мкм при различных значениях радиуса кривизны пластического изгиба кристалла R .

1 — $R = \infty$ (кристалл пластически не деформировался); 2 — $R = 2.5 \cdot 10^{-2}$ м ($\rho = 2 \cdot 10^{11}$ м $^{-2}$); 3 — $R = 5 \cdot 10^{-3}$ м ($\rho = 10^{12}$ м $^{-2}$); 4 — $R = 10^{-3}$ м ($\rho = 5 \cdot 10^{12}$ м $^{-2}$); 5 — $R = 5 \cdot 10^{-4}$ м ($\rho = 10^{13}$ м $^{-2}$). Темные и светлые кружки — экспериментальные точки, отвечающие зазечиванию и незазечиванию соответственно. а, б — схемы зазечивания кристалла при угле между границей и направлением сдвига $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 0$ соответственно. ρ , м $^{-2}$: I — $3 \cdot 10^{10}$, II — 10^{11} , III — $2 \cdot 10^{11}$, IV — $4 \cdot 10^{11}$, V — $6 \cdot 10^{10}$, VI — $5 \cdot 10^{10}$, VII — 10^{10} .

При упругом схлопывании трещины можно говорить о полном восстановлении связей, если h не превышает межатомного расстояния. Постоянные решетки в LiF и NaCl равны соответственно 4.02 и 5.5 Å. Следовательно, критерием реанимации при малых θ будет $h = a_1\theta \leq 5.5$ Å, где $a_1 = a \sin \alpha$.

Если все же между берегами остается невязка, то для ее зазечивания необходима пластическая деформация. При этом изменение высоты несплошности будет происходить главным образом за счет изгиба нижнего берега трещины. Для определения величины прогиба воспользуемся уравнением оси изогнутой балки [4] $y = 1/R$. Тогда на расстоянии a_1 от точки закрепления, которой в данном случае является нижний участок субграницы, $y = a_1^2/2R$, где R — радиус кривизны. Зная величину предельно возможной плотности дислокаций ($\rho_{\text{LiF, NaCl}} = 10^{13}$ м $^{-2}$), минимальный радиус кривизны поверхности можно найти из [5] $\rho = (bR \cos \chi)^{-1}$, где b — вектор Бюргерса, χ — угол между плоскостью скольжения и поверхностью образца до деформации. При этом расстояние между берегами составит $h_{\text{ост}} = a_1\theta - a_1^2/2R$. Поскольку регистрировать вскрытие на межатомном уровне мы, естественно, не можем, грубо оценим невязку в оптическом диапазоне

при $h_{\text{ост}} = \lambda/10 \approx 0.06$ мкм (рис. 1). Тогда совокупность значений a_1 и θ , при которых фиксируется незазалечивание, будет отвечать незаштрихованной области. Экспериментальные результаты ориентировочно согласуются с ожидаемыми (рис. 1), что свидетельствует о приемлемости такого рода оценки.

Помимо двугранных углов, обусловленных собственно границей, на ффрактোগрафии имеется большое число ступеней скола, возникающих, в частности, в результате действия раскалывающего усилия не строго вдоль плоскости спайности. Боковые фасетки ступеней наклонены под углом 45° или 135° к плоскости (001). Высота ступеней составляет 0.1—0.5 мкм при среднем расстоянии между ними 10—20 мкм. В результате

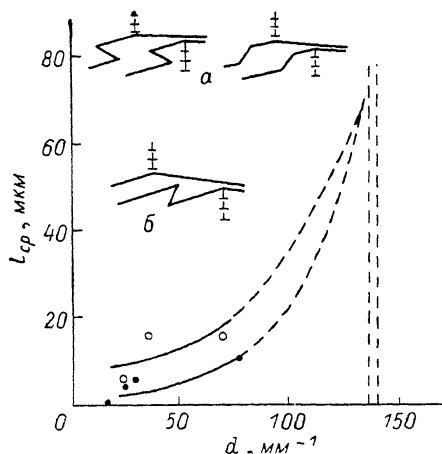


Рис. 2. Зависимость средней ширины незазлеченного участка около границы l_{cp} от плотности пересекающих ее ступеней скола d .

a — рельеф ффрактোগрафической поверхности вблизи границы и ступеньки скола (торцовое сечение), *b* — профильное сечение границы и ступеньки скольжения.

продольного сдвига при сжатии вдоль ступеней образуются каналы [6]. Когда канал пересекается с границей или находится от нее на расстоянии, меньшем величины сдвига, рельеф поверхности разрушения резко осложняется (рис. 2, *a*). С ростом плотности ступеней происходит нелинейное увеличение ширины незазлеченного участка вблизи субграницы (рис. 2). Такое сочетание каналов с СГ затрудняет реанимацию и по достижении $d = 130\text{--}140$ мм^{-1} ($\rho = 5 \cdot 10^{10}$ м^{-2}) делает ее невозможной.

Ступеньки скольжения на ффрактোগрафической поверхности возникают как при торможении трещины, так и в результате пластического изгиба ее открытых берегов. В последнем случае после реанимации остаются незазлеченные участки, ширина и высота которых зависит от расположения ступеньки скольжения относительно СГ (рис. 2, *b*).

Л и т е р а т у р а

- [1] Финкель В. М., Конкин Б. Б. Проблемы прочности, 1983, № 8, с. 28—34.
- [2] Финкель В. М., Курганская Л. А., Конкин Б. Б., Шегай В. В., Фомин И. М. ФТТ, 1984, т. 26, № 4, с. 1193—1195.
- [3] Финкель В. М., Фомин И. М., Конкин Б. Б., Шегай В. В. Поверхность. Физика, химия, механика, 1984, № 5, с. 131—137.
- [4] Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. 560 с.
- [5] Фридель Ж. Дислокации. М.: Мир, 1967. 644 с.
- [6] Финкель В. М., Курганская Л. А., Сафронов В. П. ФТТ, 1985, т. 27, № 1, с. 189—191.

Ростовский-на-Дону завод-ВТУЗ
Ростов-на-Дону

Поступило в Редакцию
3 февраля 1988 г.