

УДК 548.4.539.378

ОСОБЕННОСТИ СБРОСООБРАЗОВАНИЯ В КРИСТАЛЛАХ БИФТАЛАТА КАЛИЯ, ДЕФОРМИРОВАННЫХ СЖАТИЕМ

В. И. Владимиров, А. А. Бирковский, В. Р. Регель,
Н. Л. Сизова, Г. С. Беликова, Т. Н. Турская

Исследуется влияние граничных условий на процесс образования прослойки сброса в монокристалле бифталата калия. Растягивающие напряжения вдоль границ сбросов релаксируют путем образования системы микротрещин, которая носит фрактальный характер.

1. В настоящее время интерес исследователей вновь прикован к явлению лавинообразных перестроек кристаллической решетки в процессе деформирования при образовании полос сброса. Развитие полос сброса представляет собой типичный пример проявления коллективных дислокационных эффектов, возникающих на всех масштабных уровнях при достижении некоторых критических параметров, таких как плотность дислокаций, температура и скорость деформации. Одним из основных факторов, определяющих выбор конкретной моды сбросообразования при сжатии, являются условия закрепления испытуемых образцов на торцах [1].

В настоящей работе это явление изучается в органическом монокристалле — бифталате калия $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$, относящемся к ромбопиримидальному классу ромбической сингонии; точечная группа $2mm$ [2]. Эти кристаллы нашли широкое применение в качестве диспергирующего элемента в рентгеноспектральных приборах для исследования длинноволнового рентгеновского излучения. Для этого кристалла характерна высокая степень анизотропии сил связи и, как следствие, анизотропия упругих и пластических свойств [3, 4]. В [4] показано, что в зависимости от направления оси сжатия по отношению к плоскости спайности кристаллы БФК могут деформироваться пластически с низким пределом текучести, хрупко разрушаться и образовывать прослойки сброса.

Нами продолжено изучение образования прослоек сброса при сжатии образца БФК вдоль направления [100]. Методика приготовления и испытания образцов описана в [4]. Размеры образцов $3 \times 4.5 \times 14$ мм. Образцы деформировались со скоростями $3 \cdot 10^{-4}$ 1/с в области температур 300—473 К. При этом реализована возможность создания двух типов граничных условий: 1) пуансоны, не допускающие боковых смещений, — «жесткие» (машина типа релаксометра); 2) пуансоны, допускающие боковое смещение с поворотом, — «мягкие» (машина типа «Инстрон»).

2. При сжатии кристаллов БФК вдоль направления [100] в интервале температур 300—473 К «мягкими» и «жесткими» пуансонами наблюдается формирование областей переориентации типа сбросов вблизи торцов образца. В обоих случаях это обусловлено тем, что неоднородное напряженное состояние, макроизгибающие моменты, являющиеся причиной зарождения и развития сбросов у образцов с малым геометрическим фактором и относительно гладкой поверхностью, максимально реа-

лизуются у торцов образца [1]. Большие расстояния между действующими плоскостями скольжения только усиливают действие этого фактора.

Известно, что в случае деформирования кристаллов «жесткими» пуансонами при значительных коэффициентах трения между пуансонами и торцами образца образование переориентированных областей происходит

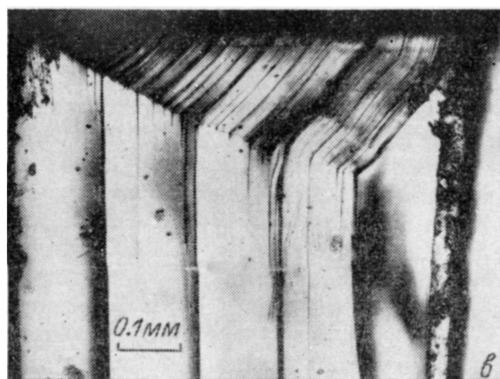
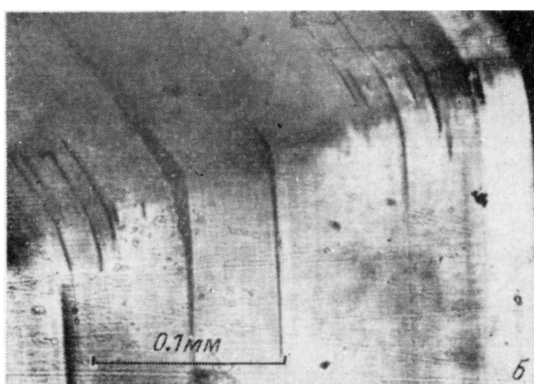
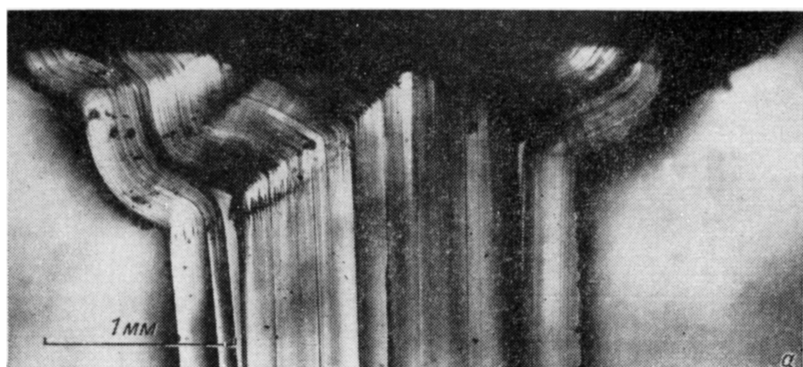


Рис. 1. Картина области переориентации при сжатии БФК вдоль $\langle 100 \rangle$.
а — «жесткие» пуансоны, б — «мягкие» пуансоны, в — «жесткие» пуансоны со смазкой.

только теми модами, которые не вызывают перемещения торцов образца относительно друг друга [1]. Характерный вид областей переориентации, образованный при деформировании «жесткими» пуансонами, приведен на рис. 1, а. Сложный сброс состоит из двух прослоек примерно равной ширины с различными кристаллографическими направлениями внутри каждой из них.

Особенностью «мягких» пуансонов, примененных в настоящей работе, является то, что один пуансон закреплен жестко, а другой шарнирно

с плечом $l \sim 600$ мм. Такие пуансоны дают возможность формоизменению кристалла с взаимным разворотом торцов на некоторый небольшой угол 1°

$$\xi_0 = \text{arctg}(d/l) \sim 1^\circ. \quad (1)$$

Такой угол оказывается достаточным для того, чтобы образующаяся прослойка сброса имела одно направление разориентации (рис. 1, б). Такую же форму приобретает упругий стержень с аналогичными условиями закрепления на торцах, когда при достижении критического значения внешнего поля он теряет упругую устойчивость [5].

В случае деформирования «жесткими» пуансонами аналогичные сбросы можно наблюдать, если на один из торцов образца нанести смазку (в качестве смазки был использован бисульфат молибдена) (рис. 1, в).

Сбросы на начальной стадии их развития представляют собой выклинившиеся области у торцов кристалла. В работе были исследованы угловые характеристики прослоек сброса: θ — разориентировка между кри-

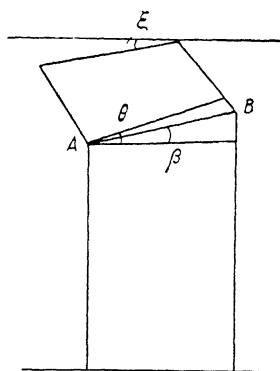


Рис. 2. Схема расположения образца при сжатии «мягкими» пуансонами.

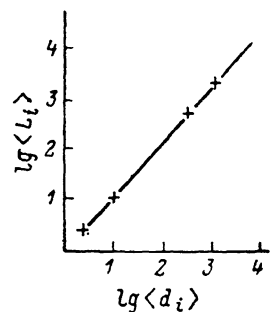


Рис. 3. Зависимость системы длин трещин $\langle L_i \rangle$ от расстояния между ними $\langle d_i \rangle$.

сталлической решеткой сброса и окружающей матрицы, β — угол между границей сброса и нормалью к действующим плоскостям скольжения (рис. 2). Известно, что несимметричная граница наклона является источником дальнедействующих напряжений $\sigma_i = E \rho b \sin(\theta/2 - \beta)$, где ρ — линейная плотность дислокаций в границе. При $\theta > 2\beta$ растяжение происходит в полосе сброса, при $\theta < 2\beta$ растяжение происходит в матрице.

По-видимому, симметричная граница $\beta = \theta/2$ с $\theta \sim 40^\circ$ является кристаллографической особенностью для БФК. Именно такую разориентировку, постоянную вдоль границы AB (рис. 2), имеют прослойки сбросов на начальных стадиях своего развития при сжатии образцов «мягкими» пуансонами. Но при этом величина угла

$$\xi = \theta - \text{arctg}[\text{tg } \beta - \text{tg}(\theta - \beta)] \sim 4^\circ. \quad (2)$$

Из сравнения (2) и (1) видно, что в случае образования сброса с симметричной кристаллографически особенной границей у торцов образца возникает угловое рассогласование между ними и пуансонами, приводящее к перекоосу образца. Последнее может быть скомпенсировано либо образованием системы трещин, раскрывающихся вдоль действующих плоскостей скольжения у границ прослойки сброса, либо образованием дополнительной ротационной прослойки типа сброса аккомодации с θ^* , что обычно и реализуется экспериментально. Сброс аккомодации зарождается вблизи вершины B и распространяется к противоположной стороне образца (рис. 2). При этом в его вершине содержится клиновидная дисклинация несоответствия мощностью

$$W = \text{arctg}(\text{tg } \theta + \text{tg } \theta^*) - \theta - \theta^*. \quad (3)$$

Известно, что энергия изолированной клиновидной дисклинации сильно зависит от ее положения относительно поверхности пластины [6]. При достаточном удалении от края пластины, откуда начинается движение дисклинации, ее упругая энергия может достигать критической величины, что приводит к развитию трещин разгрузки. На рис. 1, б можно наблюдать такие трещины.

Растягивающие напряжения вдоль границ сбросов релаксируют путем образования иерархической системы микротрещин с размерами $\langle L_1 \rangle$, $\langle L_2 \rangle \dots \langle L_n \rangle$ и расстояниями между ними $\langle d_1 \rangle$, $\langle d_2 \rangle \dots \langle d_n \rangle$. Для случая $\theta < 2\beta$, когда трещины развиваются главным образом в матрицу оказалось возможным измерить $\langle L_i \rangle$ и $\langle d_i \rangle$ на четырех масштабных уровнях. При $\theta > 2\beta$ трещины быстро достигают размера ширины полосы сброса (трещины $L_0 > h_1$ измерить было уже нельзя, так как они раскалывали весь образец). Оказалось, что система микротрещин имеет фрактальный характер [7]. Действительно, $\langle L_{i+1} \rangle / \langle L_i \rangle \approx 4 \approx \langle d_{i+1} \rangle / \langle d_i \rangle$ и вследствие этого график $\lg L_i - \lg d_i$ — прямая (рис. 3). Причина фрактальной организации микротрещин, по нашему мнению, в пропорциональном уменьшении объема, из которого трещина черпает упругую энергию, при переходе на более низкий масштабный уровень. Действие одной системы легкого скольжения в этом кристалле способствует развитию сбросообразования за счет движения дислокаций под углом к направлению распространения сбросов и генерации микротрещин в этой же плоскости по механизму, близкому к механизму Рожанского [8].

Список литературы

- [1] Бирковский А. А., Владимиров В. И., Романов А. Е. // Сб. «Дисклинация и ротационная деформация твердых тел». Л., ФТИ, 1988. С. 5—49.
- [2] Беликова Г. С., Беляев Л. М., Писаревский Ю. В., Сильвестрова И. М., Турская Т. Н. // Кристаллография. 1974. Т. 19. № 3. С. 566—572.
- [3] Беляев Л. М., Беликова Г. С., Гильварг А. Б., Сильвестрова И. М. // Кристаллография. 1969. Т. 14. № 4. С. 645—651.
- [4] Регель В. Р., Владимиров В. И., Сизова Н. Л., Лутфуллаева Л. А., Сильвестрова И. М., Писаревский Ю. В., Беликова Г. С., Турская Т. М., Охрименко Т. М., Чернышева М. А. // Кристаллография. 1989. Т. 34. № 5.
- [5] Тимошенко С. П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М.: Наука, 1971. С. 818.
- [6] Владимиров В. И., Романов А. Е. Дисклинация в кристаллах. Л.: Наука, 1986. С. 107.
- [7] Смирнов Б. М. // УФН. 1986. Т. 149. № 2. С. 177—220.
- [8] Рожанский В. Н. // ФТТ. 1960. Т. 2. № 6. С. 1082—1088.

Институт кристаллографии АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
24 апреля 1989 г.