

частицам приписывалась скорость вдвое большая расходной. Распределение таких частиц по временам индукции совпало с распределением, полученным методом, описанным в статье.

Поступила в редакцию
23/V 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Friedman, A. Масек. *Combustion and Flame*, 1962, 6, 9.

УДК 662.215.2

СОХРАНЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ФЛЮОРИТА В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

С. С. Бацанов, Е. М. Малышев, Л. И. Кобец,
В. П. Иванов
(Новосибирск)

В работах [1—6] была показана возможность сохранения монокристаллов MgO и NaCl в условиях динамического сжатия. Взрывное нагружение приводило к разориентировке блоков, увеличению плотности дислокаций и микротвердости.

Целью данной работы было изучение действия ударных волн на монокристаллы флюорита.

Исследование проводилось на полированных пластинках, которые выкалывались по спайности (111) из монокристаллов CaF₂, выращенных комбинированным методом Бриджмена — Стокбаргера и вертикальной зонной плавки [7]. Взрывное нагружение проводилось в плоских ампулах, изготовленных из стали (рис. 1). В качестве взрывчатого вещества использовался насыпной гексоген в количествах 25, 50, 75, 100 и 300 г. Ударное обжатие монокристаллов флюорита проводилось при их предварительном запрессовывании в порошок CaF₂, причем плотность спрессованного порошка составляла около 90% от плотности

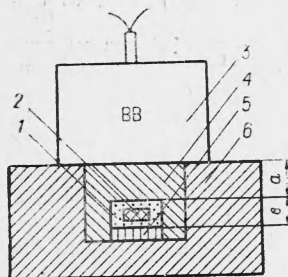


Рис. 1. Схема опыта.

1 — спрессованный порошок CaF₂ ($\sigma=10$ мм); 2 — кристалл флюорита толщиной 3—4 мм, диаметром 10 мм; 3 — стакан со взрывчатым веществом диаметром 60 мм; 4 — стальная ампула ($a=15$ мм); 5 — стальной поршень; 6 — стальная обойма.

монокристалла, что обуславливало малое отличие в их значениях волновых импедансов.

В таблице приведены зависимости давления (в килобарах) в стали на контакте сталь — порошок CaF₂ (с учетом затухания волны) и в порошке ($\lambda=0,9$) и монокристалле CaF₂ от веса ВВ. Давление на контакте ВВ — сталь равно 195 кбар.

Оценка давлений в ударных волнах производилась следующим образом. Известно, что для твердых тел в широкой области динамических давлений скорость ударной волны D есть линейная функция массовой скорости u .

$$D = a + bu.$$

С достаточной степенью точности можно считать [8, 9] a равной скорости звука вещества в нормальных условиях. Измеренная нами

Вещество	Вес ВВ, г			
	25	50	75	100
Сталь	112	133	143	151
Порошок CaF ₂	35	45	49	53
Монокристалл CaF ₂	50	63	69	74

средняя скорость звука в кристалле CaF_2 оказалась равной $c=3,94$ км/сек. Коэффициент b , как правило, лежит в пределах 1,3—1,6 [8, 9], поэтому предполагаем, что для CaF_2 зависимость $D(u)$ имеет вид

$$D=3,94+1,5 u. \quad (1)$$

Связь между скоростью ударной волны D^* в порошкообразном веществе и скоростью ударной волны в сплошном материале можно выразить [10]

$$\frac{1}{D^*} = \frac{\lambda}{D} + \frac{1-\lambda}{2u}, \quad (2)$$

где $\lambda = \frac{\text{плотность порошкообразного вещества}}{\text{плотность сплошного вещества}}$, а массовые скорости порошка u^* вычисляются по формуле

$$\lambda D^* u^* = (2u - u^*) [a + v(2u - u^*)]. \quad (3)$$

Давление в стальной ампуле на контакте ВВ — сталь и затухание ударной волны в стали вычислялись, согласно [11], при условиях: $\rho_{\text{ВВ}}=1,1$ г/см³; $L_{\text{ВВ}}=6,2$ км/сек; ρ_0 (стали)=7,8 г/см³; c_0 (стали)=5,05 км/сек.

Заметим, что оценочные расчеты давлений справедливы для центра ампулы и кристалла (см. рис. 1), где на небольшом участке ударную волну можно считать плоской. Поскольку от границы ВВ — сталь до нижней границы порошок флюорита — сталь составляет 25 мм, при радиусе заряда 30 мм ширина фронта на нижней границе из-за влияния боковых волн разгрузки будет порядка 10 мм. Учитывая далее, что кристалл и нижнюю границу ампулы разделяет порошок CaF_2 высотой 3÷4 мм, влиянием отраженных волн, по-видимому, можно пренебречь.



Рис. 2. Лауэграммы кристаллов флюорита: исходного (а) и подвергнутого ударному нагружению 50 (б) и 300 г (в) ВВ.

Пластины флюорита, подвергнутые взрывному воздействию, покрывались сетью трещин по спайности, в результате чего прозрачность взорванных кристаллов была меньше, чем в исходных. Окрашивания не наблюдалось. Максимальные размеры сохранных кристаллов были: высота 0,5—1,0 и поперечное сечение 2×3 мм².

Для выяснения степени совершенства монокристаллов CaF_2 , исходных и подвергнутых динамическому обжатию, проводилась съемка лауэграмм кристаллов на полихроматическом медном излучении трубки БСВ-4 в камере РКВ.

На рис. 2, а, б, в изображены лауэграммы флюорита исходного и подвергнутого ударному обжатию.

Как видно из графиков (см. рис. 2, б, в), кристаллы, подвергнутые динамическому нагружению, остаются монокристаллическими. Однако при сильном динамическом нагружении наблюдался ярко выраженный радиальный астеризм (см. рис. 2, в), который свидетельствует о значительной разориентировке блоков и возникновении сильных напряжений в кристаллах.

По величине астеризма точек были рассчитаны углы разориентировки блоков относительно друг друга по формуле $\Delta(2\theta) = 4\delta$ [12], где $\Delta(2\theta)$ — величина угла размытия пятна в радиальном направлении, а δ — угол максимальной разориентировки блоков от среднего положения, характерного для монокристалла в целом. Кроме того, были рассчитаны размеры этих блоков по формуле $L = \frac{4d}{\Delta(2\theta)}$ [12], где d — межплоскостное расстояние, L — размер блока в ангстремах, $\Delta(2\theta)$ — в радианах. Расчет показал, что угол разориентировки кристаллических блоков относительно друг друга в зависимости от приложенного давления изменялся от 2 до 6° (2δ), а размеры этих блоков изменялись от 500 до 125 Å.

Исследование реальной структуры кристаллов CaF_2 проводилось с помощью избирательного химического травления в концентрированной серной кислоте [13] в течение 11,5 мин при комнатной температуре, кроме того, была измерена микротвердость кристаллов.

Подсчет плотности дислокаций CaF_2 проводился под металлографическим микроскопом МИМ-7. У исходных кристаллов флюорита плотность дислокаций (σ) равнялась $4 \cdot 10^5/\text{см}^2$, а у кристаллов, подвергнутых ударному обжатию, σ изменялась от $4,8 \cdot 10^7$ до $5,6 \cdot 10^7/\text{см}^2$ в зависимости от силы динамического воздействия.

Нужно отметить, что увеличение плотности дислокаций сопровождалось сохранением фигур травления, существовавших до ударного нагружения, которые проявлялись в виде более крупных ямок, и появлением новых дислокаций. Зависимости плотности дислокаций и микротвердости кристаллов от веса заряда ВВ и давления приведена на рис. 3, а, б.

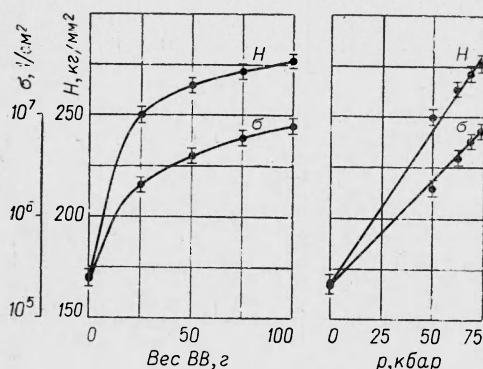


Рис. 3. Характер зависимости плотности дислокаций (σ) и микротвердости (H) CaF_2 от веса заряда (а) и давления (б).

Повышение микротвердости ударно-обжатых образцов, вероятнее всего, объясняется тем, что под воздействием ударного нагружения кристаллы упрочняются за счет разориентировки кристаллических блоков и связанной с этим увеличением плотности дислокаций.

В заключение авторы приносят благодарность Г. С. Доронину за выполнение динамических экспериментов.

Поступила в редакцию
8/XII 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. M. J. Klein, F. A. Rough, C. Simons. J. Amer. Cer. Soc., 1963, 46, 356.
2. W. B. Gager, M. J. Klein, W. N. Jones. Appl. Phys. Lett., 1964, 5, 131.
3. M. J. Klein. Phil. Mag., 1965, 12, 735.
4. M. J. Klein, W. B. Gager. J. Appl. Phys., 1966, 37, 4112.
5. Л. В. Альтшулер, М. И. Бражник и др. ФТТ, 1967, 9, 3063.
6. С. С. Бацанов, П. А. Ждан, В. Н. Коломейчук. ФГВ, 1968, 4, 2.
7. Г. Б. Бокий, Л. И. Кобец. Кристаллография, 1966, 11, 2.
8. М. Райс, Р. Мак-Куин, Дж. Уолш. Сб. «Динамические исследования твердых тел при высоких давлениях». М., «Мир», 1965.
9. В. Н. Жарков, В. А. Калинин. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах». М., «Наука», 1968.
10. J. Thouvenin. J. de Phys., 1966, 72, 3—4.
11. В. М. Любошиц. ФГВ, 1967, 3, 2.
12. Ю. А. Багряцкий. Кристаллография, 1962, 7, 2.
13. W. Bontinck. Phil. Mag., 1957, 2, 16.