

М. П. ВОЛАРОВИЧ, А. И. ЛЕВЫКИН, В. Д. ПАРФЕНОВ

ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ И СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН В БАРИТЕ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

(Представлено академиком М. А. Садовским 21 II 1972)

Исследования деформационных и упругих свойств минералов и горных пород в условиях высоких давлений и температур имеют важное значение для геофизики (¹⁻⁵). Барит является жильным минералом. Согласно данным В. С. Соболева (⁶), Ю. А. Розанова (⁷) и др., он, подобно кальциту, легко пластически деформируется уже при невысоких ориентированных нагрузках. Основной целью проведенных экспериментов было выяснение механизма пластической деформации, характера ориентировки двойников и деформационных пластин (⁸) барита относительно приложенной нагрузки и выявления связи между пластической деформацией и скоростью распространения продольных ультразвуковых волн. Влияние пластических или больших остаточных деформаций на скорости распространения упругих волн в минералах не было изучено.

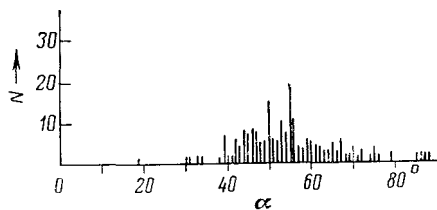


Рис. 1. Число измерений N , соответствующих углу α между осью внешней (осевой) нагрузки P_0 и полюсом двойника в барите

Образцы для опытов представляли собой цилиндры диаметром 17 мм и длиной 20 мм, вырезанные по трем взаимно перпендикулярным направлениям из сросшихся пластинок барита. Эксперименты проводились в стальных камерах типа Адамса в условиях осевого нагружения при давлениях P_0 от 1,7 до 8,0 кбар. При этом всестороннее давление P_r достигало 3,6 кбар. Два опыта были поставлены практически в условиях, близких к гидростатическому сжатию ($P_0 = P_r = 12$ кбар) на установке, описанной в (⁹). В образцах барита, не подвергнутых испытаниям, отсутствовали двойники, волнистое угасание и зоны катаклаза. Исследование пластических деформаций проводилось по шлифам, изготовленным из образцов барита, подвергнутым испытаниям.

Изучение шлифов под микроскопом показало, что при небольших нагрузках ($P_0 = 2$ кбар; $P_r = 1$ кбар) пластическая деформация в барите выражалась в появлении двойников в немногочисленных зернах по плоскости (601), а также образовании слабого волнистого погасания. При возрастании нагрузки число сдвойникованных зерен по плоскости (601) увеличивалось. В некоторых образцах появлялись дополнительные системы двойников по плоскостям (201) и (011) и деформационные пластинки по плоскостям (613), (412), (812) и др., а также по близким к ним иррациональным поверхностям. Деформационные пластинки появляются, согласно нашим наблюдениям, позднее, чем двойники системы (601). При гидростатическом нагружении образцов двойники в барите не образовывались. Лишь местами в зернах наблюдалось слабое волнистое угасание и катаклаз, по-видимому, обусловленные локальной анизотропией напряженного состояния.

Изучение пространственной ориентировки двойников показало, что большинство из них расположено под углом $40-60^\circ$ относительно оси на-

гружения P_0 (рис. 1), в целом, как известно, совпадающей со среднестатистической осью максимальных сжимающих напряжений. При этом полюсы двойников обычно образовывали два максимума, соответствующие двум сопряженным системам двойников. При высоких скоростях нагружения и высоких осевых нагрузках, помимо описанных выше явлений пластической деформации, появляется также значительное число сколов и зон дробления, уменьшающихся при медленных нагружениях.

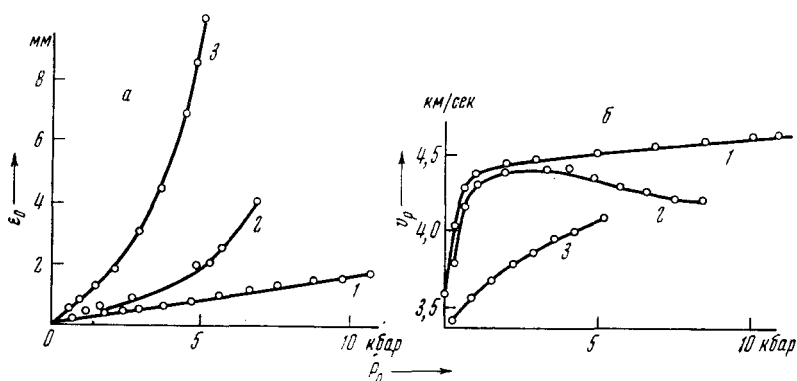


Рис. 2. Зависимость скорости продольных волн (б), пластической и упругой деформаций (а) от осевого и гидростатического давлений: 1 — $P_0 = P_r = 11$ кбар; 2 — $P_0 = 8$ кбар; $P_r = 3,5$ кбар, скорость нагружения $100 \text{ кг} \cdot \text{мин} \cdot \text{см}^{-2}$; 3 — $P_0 = 4,9$ кбар, $P_r = 2,3$ кбар, скорость нагружения $10 \text{ кг} \cdot \text{мин} \cdot \text{см}^{-2}$.

В процессе опытов одновременно с изучением пластической деформации проводились определения скоростей продольных волн по ранее разработанной методике⁽⁹⁾. Было установлено, что с увеличением количества двойников и деформационных пластинок (что связано с увеличением пластической деформации) скорость продольных волн уменьшалась. Особенно резкое падение скорости было замечено при появлении сколов и зон дробления. Уменьшение скорости нагружения приводит к росту скорости продольных волн, что, по-видимому, связано с явлением самозалечивания образующихся при пластических деформациях микротрещин.

На рис. 2а приведен график зависимости величины пластической деформации ϵ_0 , измеряемой вдоль оси образца (кривые 2, 3) от осевого давления P_0 при различных скоростях нагружения. Кривая 1 выражает зависимость упругой деформации от величины гидростатического нагружения. Как видно из графика, с уменьшением скорости нагружения пластическая деформация увеличивается, а предел текучести уменьшается.

На рис. 2б для тех же образцов барита и условий опыта приведена зависимость v_p от осевого давления (кривые 2, 3) и от гидростатического давления для образца (1).

Данные при высоких давлениях по деформационным и упругим свойствам горных пород и минералов позволяют в какой-то степени пролить свет на процессы, протекающие в недрах Земли, особенно в активных зонах и могут быть использованы при рассмотрении вопросов, связанных с прогнозом землетрясений.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
28 I 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. D. Adams, J. Geol., 20 (1912). ² F. Heide, Zs. Kristallogr., 78 (1931).
³ H. C. Heard, J. Geophys. Res., 66, № 8 (1961). ⁴ Ультразвук в геофизике, М. 1964. ⁵ М. П. Воларович, Геофиз. сборн., № 9 (1964). ⁶ В. С. Соболев Федоровский метод, М., 1964. ⁷ Ю. А. Розанов, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд. петрогр., минерал. и геохим., 66 (1962). ⁸ Ф. Тернер и др., Сборн. Вопросы структурной геологии, М., 1958. ⁹ М. П. Воларович, А. И. Левыкин, Н. Е. Галдин, ДАН, 157, № 6 (1964).