

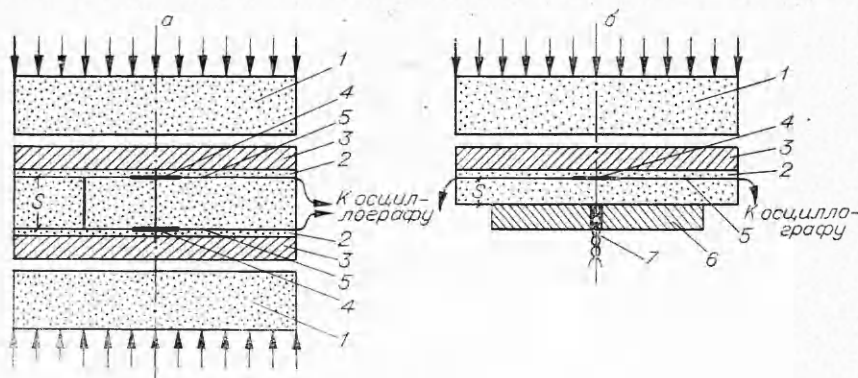
ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОЙ СЖИМАЕМОСТИ КВАРЦИТА, ПАРАФИНА И ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА С ПОМОЩЬЮ МАНГАНИНОВОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Н. Г. Калашников, М. Н. Павловский

(Москва)

Показана возможность применения манганинового датчика давления для измерения двукратного ударного сжатия. Изложены результаты экспериментальных определений ударной сжимаемости кварцита, парафина и политетрафторэтилена до давления 390—920 кбар. Полученные данные свидетельствуют о вероятном существовании фазы двуокиси кремния с плотностью, превышающей плотность стишверита на $11 \div 17\%$.

Методом, основанным на увеличении электросопротивления манганина при сжатии [1], измерено сжатие кварцита, парафина и политетрафторэтилена (фторпласт-4) при лобовом столкновении ударных волн в этих материалах. Постановка экспериментов схематически изображена на фиг. 1, а. Двукратное сжатие образцов производилось плоскими удар-



Фиг. 1

ными волнами, образующимися при взрыве двух одинаковых, одновременно инициируемых цилиндрических зарядов 1 взрывчатого вещества диаметром 120 мм, расположенных один против другого. Исследуемый образец состоял из трех слоев, между которыми располагались два манганиновых датчика, соединенные последовательно. Толщина слоев 2 между алюминиевыми экранами 3 и датчиками равнялась ~ 2 мм, толщина слоя S между датчиками — $18 \div 25$ мм. Датчики 4 изготавливались в виде синусоиды из манганиновой проволоки диаметром 0,2 мм, расплющенной до толщины $\sim 0,1$ мм. Суммарное сопротивление датчиков составляло ~ 3 Ом. К концам датчиков припаивались выводы 5 из медной фольги.

Для подачи импульса напряжения на манганиновые датчики давления и регистрации получаемых сигналов использовалась электросхема, описанная в [2]. Импульс напряжения на датчики подавался через бал-

ластное сопротивление с конденсатора емкостью около 4 мкФ. Величина балластного сопротивления была много больше суммарного сопротивления датчиков, поэтому ток в цепи оставался в течение всего времени регистрации практически постоянным. Напряжение с выводов последовательно соединенных датчиков подавалось по кабельной линии непосредственно на отклоняющие пластины осциллографа типа С1-24. Изменение напряжения отражало увеличение сопротивления датчиков при их ударном нагружении.

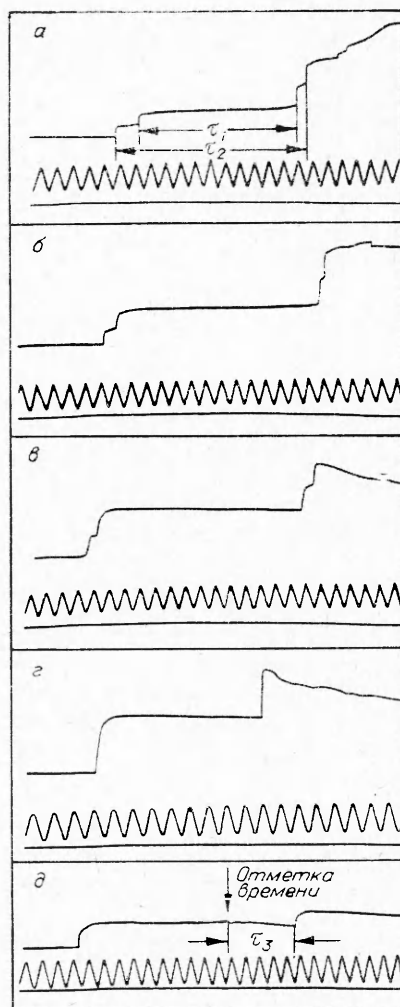
В качестве измерительной установки использовалась электросхема. Регистрация сигналов осуществлялась с помощью осциллографов типа С1-24.

Представленные на фиг. 2, а, б, в, г, осциллограммы получены на образцах из парафина, фторпласта-4 и кварцита соответственно. Первый выброс луча на осциллограммах соответствует приходу к датчикам ударных волн нагружения. Длительность ступеньки на середине фронта первого выброса характеризует неодновременность прихода к датчикам ударных волн с противоположных сторон. Второй выброс луча на осциллограммах соответствует приходу к датчикам отраженных ударных волн нагружения. Двухступенчатость профиля второго выброса определяется неодновременностью прихода к датчикам отраженных волн сжатия. Заметно меньшая длительность ступеньки во втором выбросе луча объясняется существенно большей скоростью распространения отраженных волн по веществу, предварительно уже сжатому первыми волнами нагружения. При одновременном подходе ударных волн к датчикам с противоположных сторон наблюдается одноволновая конфигурация выбросов (см. фиг. 2, г). Частота меток времени на всех осциллограммах—5 МГц.

Параметры сжатия парафина и политетрафторэтилена первой волной нагружения, определенные из электроконтактных измерений волновых скоростей в этих материалах, а также взятые из [3] аналогичные данные для кварцита приведены в левой половине таблицы, где даны начальные плотности исследуемых образцов — ρ_0 , величины волновой — D_1 и массовой — U_1 скоростей первой волны нагружения, плотность — ρ_1 и степень сжатия — $\sigma_1 = \rho_1/\rho_0$ вещества за ее фронтом.

Параметры сжатия вещества отраженной ударной волной для случая лобового столкновения ударных волн определялись с помощью следующих выражений:

$$D_{12} = D_1 + D_1 \frac{S - U_1(\tau_1 + \tau_2)}{(\tau_1 + \tau_2) D_1 - S},$$



Ф и г. 2

$$P_2 = P_1 + \rho_1 U_1 D_{12},$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 \frac{D_{12}}{D_{12} - U_1} \quad \text{и} \quad \rho_2 = \rho_0 \sigma_2,$$

где D_{12} — скорость распространения отраженной ударной волны, τ_1 и τ_2 — временные интервалы на осциллограммах (см. фиг. 2, а), P_2 , σ_2 и ρ_2 — давление, степень сжатия и плотность вещества за фронтом отраженной волны соответственно.

Результаты вычислений, характеризующие двукратную ударную сжимаемость изучавшихся материалов при лобовом столкновении ударных

Исследуемый материал	Параметры сжатия образца первой ударной волной нагружения					Параметры сжатия образца отраженной ударной волной отражения				
	D_{11} , км/с	U_{11} , км/с	P_{11} , кбар	σ_1	ρ_{11} , г/см ³	D_{12} , км/с	ΔU , км/с	P_2 , кбар	σ_2	ρ_2 , г/см ³
Парафин $\rho_0 = 0,9$ г/см ³	6,10	2,14	118	1,543	1,39	8,25 9,08	1,58 2,14	299 388	1,908 2,020	1,72 1,82
Фторпласт-4 $\rho_0 = 2,19$ г/см ³	5,00	1,78	195	1,554	3,40	6,88 8,33	0,90 1,78	405 701	1,790 1,978	3,92 4,33
Кварцит $\rho_0 = 2,65$ г/см ³	5,72 5,75	1,68 2,05	255 312	1,414 1,553	3,75 4,12	5,92 7,21	1,68 2,05	628 923	1,980 2,170	5,25 5,75

волн, обобщены в правой половине таблицы. Точность измерения давления составила $\pm 2\%$, плотности — $\pm 1\%$.

Промежуточные экспериментальные точки на $P - \rho$ зависимостях парафина и фторпласта-4 получены в результате экспериментов, схему проведения которых см. на фиг. 1, б. Двукратное ударное сжатие исследуемых образцов осуществлялось в этом случае с помощью ударной волны, отражающейся от медной подложки 6, расположенной после образца. Замыкание электроконтактного датчика 7, помещенного на границе исследуемого образца и медной подложки, позволило получить на осциллограммах (см. фиг. 2, б) отметку времени, соответствующую приходу ударной волны к подложке. Толщина образца S составляла в этих опытах ~ 10 мм.

Параметры сжатия образцов ударной волной, отраженной от медной подложки, определялись с помощью выражений

$$D_{12} = \frac{S}{\sigma_1 \tau_3}, \quad \Delta U = \frac{P_2 - P_1}{\rho_1 D_{12}},$$

$$P_2 = P_1 + \rho_1 \Delta U D_{12},$$

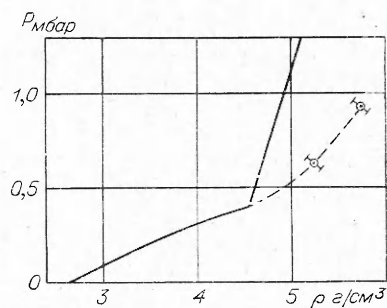
$$\sigma_2 = \sigma_1 \frac{D_{12}}{D_{12} - \Delta U} \quad \text{и} \quad \rho_2 = \rho_0 \sigma_2,$$

где τ_3 — время прохождения отраженной волны по образцу (см. фиг. 2, б), ΔU — изменение массовой скорости вещества в результате прохождения по нему отраженной ударной волны.

Приведенные в таблице результаты находятся в хорошем соответствии с данными [4,5], характеризующими двукратную ударную сжимаемость парафина и политетрафторэтилена и полученными ранее с помощью магнитоэлектрической методики измерения массовых скоростей, что подтверждает правильность получаемых новым методом результатов.

Использование манганиновых датчиков давления для измерения двукратного ударного сжатия обеспечивает ряд существенных преимуществ

по сравнению с ранее использовавшейся магнитоэлектрической методикой [4,5]. В этом случае не требуется применения громоздких магнитов и питающих их электрогенераторов, а также усиления регистрируемых сигналов. Отсутствует необходимость в измерении напряженности магнитного поля. Это не только упрощает проведение эксперимента, но и обеспечивает более высокую точность измерений. Новая методика позволяет использовать заряды ВВ сколь угодно большого веса, что дает возможность применять измерительные устройства, обладающие лучшей симметрией, и продвинуться в область более высоких давлений. Немаловажно также и то, что появилась возможность изучать пьезоэлектрические материалы, например, кварцит. Сопоставление данных таблицы, характеризующих двукратное ударное сжатие кварцита, с известными данными по однократному ударному сжатию кварцита [3] показывает, что вновь полученные экспериментальные точки на $P - \rho$ -зависимости (фиг. 3) лежат существенно правее стиповеритной ветви кривой однократного сжатия кварцита. Это указывает на образование в описанных условиях сжатия фазы SiO_2 более плотной (примерно на 11–17%), чем стиповерит. Такое увеличение плотности соединений типа MeX_2 отмечено в [6,7] при изотипных превращениях веществ, имеющих рутилоподобную структуру с координационным числом 6, в структуру типа флюорита с координационным числом 8. Другим косвенным подтверждением получения флюоритоподобной формы SiO_2 в условиях многократного динамического нагружения является обнаруженная в [8] орторомбическая, типа $\alpha - \text{PbO}_2$, структура SiO_2 . Согласно [6] и [9], стабильная при высоких давлениях флюоритоподобная структура может принимать после снятия нагрузки орторомбическую форму типа $\alpha - \text{PbO}_2$. Полученные в данной работе результаты находятся в хорошем согласии с высказанными в [6,9] концепциями и экспериментальными данными из [8].



Фиг. 3

Поступила 16 VII 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Bernstein D., Keough D. Piezoresistivity of Manganin. J. Appl. Phys., 1964, vol. 35, 1471.
2. Симаков Г. В., Павловский М. Н., Калашников Н. Г., Трунин Р. Ф. Ударная сжимаемость двенадцати минералов.— Изв. АН СССР, сер. Физика Земли, 1974, № 8, с. 11.
3. Трунин Р. Ф., Симаков Г. В., Подурец М. А., Моисеев Б. П., Попов Л. В. Динамическая сжимаемость кварца и кварцита при высоких давлениях. Изв. АН СССР, сер. Физика Земли, 1971, № 1, с. 13.
4. Альтшулер Л. В., Павловский М. Н. Магнитоэлектрический метод определения плотности за фронтом сталкивающихся ударных волн. ПМТФ, 1971, № 2, с. 110.
5. Калашников Н. Г., Кулешова Л. В., Павловский М. Н. Ударное сжатие политетрафторэтилена до давлений $\sim 1,7$ Мбар. ПМТФ, 1972, № 4, с. 187.
6. Верецагин Л. Ф., Кабалкина С. С., Котилевец А. А. Фазовый переход в MnF_2 при высоком давлении.— ЖЭТФ, 1965, т. 49, вып. 6 (12), с. 1728.
7. Syono Akimoto. High Pressure synthesis of fluorite type PbO_2 . Met. Res. Bull., 1967, vol. 3, 153.
8. Герман В. Н., Подурец М. А., Трунин Р. Ф. Синтез высокоплотной фазы двуокиси кремния в ударных волнах. ЖЭТФ, 1973, т. 64, вып. 1, с. 205.
9. Hyde B. G., Bursill L. A., O'Keefe M., Anderson S. Continuous Topological Variation of Coordination in Crystals: Structural Relations and Possible Transformation Mechanisms. Nature Phys. Sci., 1972, vol. 273, № 72, 35.