

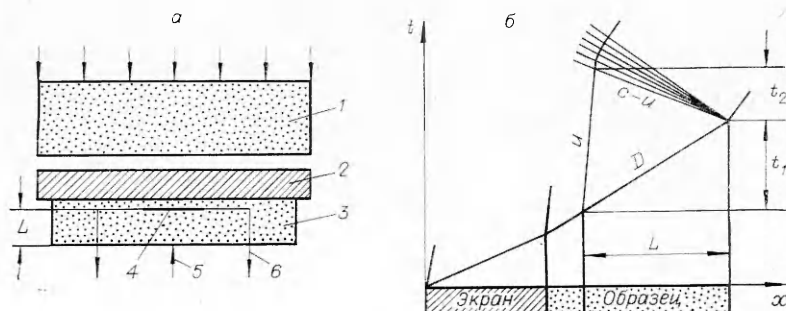
ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА В УДАРНО-СЖАТЫХ КВАРЦИТЕ, ДОЛОМИТЕ, АНГИДРИТЕ, ХЛОРИСТОМ НАТРИИ, ПАРАФИНЕ, ПЛЕКСИГЛАСЕ, ПОЛИЭТИЛЕНЕ И ФТОРОПЛАСТЕ-4

М. Н. Павловский

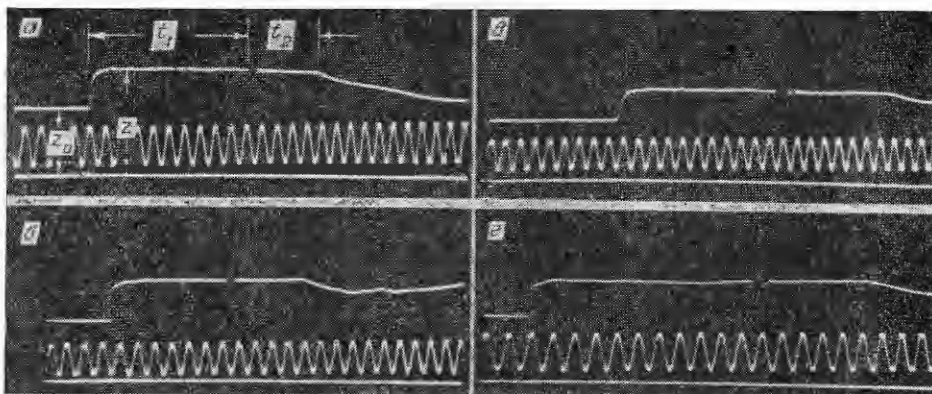
(Москва)

Важным термодинамическим параметром, определяющим состояние сжатого вещества, является скорость распространения по нему слабых возмущений, или скорость звука. Информация о скорости звука полезна при изучении уравнения состояния веществ в области высоких давлений и представляет интерес для физики твердого тела и геофизики.

В данной работе изложены результаты экспериментальных измерений скорости волн разрежения в ударно-сжатых кварците, доломите, ангидрите, монокристаллическом NaCl, парафине, плексигласе, полиэтилене и фторопласте-4 при помощи манганинового датчика давления, описанного в [1]. Схема выполнения опытов изображена на фиг. 1, а (1 — заряд ВВ, 2 — экран, 3 — исследуемое вещество, 4 — манганиновый датчик давления, 5 — электроконтактный датчик, 6 — выводы манганинового датчика давления). На фиг. 1, б приведена $x-t$ -диаграмма процесса ударного нагружения и последующей разгрузки исследуемого вещества. Сжатие исследуемого образца осуществлялось плоской ударной волной, образующейся в результате взрыва цилиндрического заряда ВВ, диаметр которого 90—120 мм. Толщина прикрывающего образец экрана из алюминия или меди 10 мм. Датчик давления представлял собой синусоиду из манганиновой фольги толщиной 0,05 мм и вклеивался при помощи эпоксидной смолы между поверхностями раздела исследуемого образца. Толщина L образца 10—12 мм. Начальное электросопротивление датчика R_0 составляло 1,5—2 Ом, суммарное сопротивление медных выводов датчика $R_B \sim 0,02$ Ом. На датчик через балластное сопротивление $R_B \gg R_0$ за несколько микросекунд до момента прихода к датчику ударной волны с конденсатора емкостью 4 мкФ подавался импульс напряжения. Изменение напряжения на выводах датчика, происходящее в результате изменения электросопротивления датчика при его ударном нагружении и в волне разрежения, фиксировалось при помощи осциллографа типа С1-24. Регистрируемый сигнал подавался без предварительного усиления непосредственно на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки.



Фиг. 1



Фиг. 2

Электроконтактный датчик, расположенный на свободной поверхности образца, служил для получения на осциллограмме (фиг. 2) временной отметки, соответствующей моменту выхода ударной волны нагружения на упомянутую поверхность. На фиг. 2, *a — d* приведены некоторые из осциллограмм, полученные в опытах по измерению скорости распространения волны разрежения в кварците, доломите, хлористом натрии и фторопласте-4 соответственно. Частота масштабной синусоиды на всех осциллограммах 5 МГц.

Максимальная скорость распространения волны разгрузки по исследуемому ударно-сжатому веществу вычислялась с помощью выражения

$$c = u + [L - u(t_1 + t_2)] / (t_1 + t_2 - L/D) = L/\sigma t_2,$$

где L — начальная толщина исследуемого образца (см. фиг. 1); D — скорость распространения по образцу ударной волны нагружения; u — массовая скорость за ее фронтом; σ — величина относительного сжатия исследуемого вещества ударной волной; t_1 — время прохождения ударной волны по образцу от манганинового датчика давления до электроконтакта, установленного на свободной поверхности образца; t_2 — интервал времени от момента замыкания электроконтакта и до момента прихода волны разрежения к манганиновому датчику давления. При выполнении вычислений вносилась поправка, учитывавшая толщину датчика давления и разность скоростей развертки лучей осциллографа. Используемые в расчетах параметры сжатия образцов ударными волнами определены на основе экспериментально измеренных значений волновых скоростей в образцах $D = L/t_1$ и давлений на фронте ударной волны p . Величину давления ударного нагружения p определяли, исходя из измеренного в опыте значения электросопротивления манганинового датчика за фронтом ударной волны, равного $R = (R_0 + R_p)z/z_0 - R_0$ [1], где z/z_0 — отношение амплитуд отклонений луча на осциллограмме (см. фиг. 2). При этом использовалась зависимость электросопротивления манганина от давления ударного нагружения $R/R_0 = f(p)$ из [1]. Соответственно величина массовой скорости за фронтом волны нагружения $u = p/\rho_0 D$, а величина относительного сжатия образца ударной волной $\sigma = \rho/\rho_0 = D/(D - u)$. Кроме того, значения p и u находились методом «отражения» [2] по известным параметрам состояния в экране и экспериментально измеренной волновой скорости в образце. Используемые при этом ударные адиабаты экранов взяты из [3]. В координатах волновая скорость D — массовая скорость u их адиабаты описываются

Исследуемое вещество, г/см ³	Материал экрана	Массовая скорость в экране <i>u</i> , км/с	Параметры сжатия образца ударной волной				Скорость вол- ны разреже- ния <i>c</i> , км/с
			<i>D</i> , км/с	<i>u</i> , км/с	σ	<i>p</i> , кбар	
$\rho_0 = 2,65$ Кварцит	Медь	0,34	5,45	0,54	1,111	78	$7,22 \pm 0,29$
	Алюминий	0,69	5,67	0,79	1,163	118	$7,62 \pm 0,13$
	»	1,14	5,70	1,25	1,278	188	$7,67 \pm 0,13$
	»	1,24	5,70	1,37	1,317	206	$8,58 \pm 0,10$
	»	1,38	5,71	1,53	1,368	231	$8,80 \pm 0,10$
	»	1,50	5,72	1,68	1,415	255	$9,12 \pm 0,13$
»	1,80	5,75	2,05	1,556	312	$9,43 \pm 0,20$	
Доломит $\rho_0 = 2,84$	»	1,50	6,92	1,51	1,279	297	$8,34 \pm 0,10$
Ангидрит $\rho_0 = 2,97$	»	1,50	6,29	1,55	1,327	290	$7,00 \pm 0,10$
Хлористый натрий $\rho_0 = 2,16$	»	1,50	5,75	1,79	1,450	220	$5,91 \pm 0,13$
Парафин $\rho_0 = 0,9$	»	1,14	5,49	1,67	1,438	82,3	$6,53 \pm 0,10$
	»	1,50	6,17	2,19	1,552	121,2	$7,37 \pm 0,15$
Плексиглас $\rho_0 = 1,18$	»	1,14	5,29	1,66	1,457	103	$6,57 \pm 0,10$
	»	1,50	5,88	2,13	1,568	148	$7,56 \pm 0,17$
Полиэтилен $\rho_0 = 0,92$	Медь	0,34	3,65	0,63	1,208	21,1	$4,48 \pm 0,11$
	Алюминий	1,14	5,38	1,75	1,482	86,5	$6,49 \pm 0,10$
	»	1,24	5,58	1,89	1,512	97	$6,64 \pm 0,10$
	»	1,50	6,19	2,25	1,570	128	$7,31 \pm 0,11$
Политетрафторэтилен (фторопласт) $\rho_0 = 2,19$	»	1,14	4,46	1,45	1,482	142	$5,68 \pm 0,22$
	»	1,50	5,16	1,86	1,564	210	$6,59 \pm 0,10$

соотношениями $D = 5,25 + 1,39 u$; $D = 3,95 + 1,50 u$ для алюминия и меди соответственно. Сравнение полученных таким образом параметров ударного сжатия кварцита, доломита и фторопласта-4 с ранее опубликованными данными [4—6], определенными в этих условиях электроконтактным методом, показывает их хорошее согласие.

Определенные таким образом скорости распространения волн разрежения в изучавшихся материалах даны в таблице вместе с использованными в расчетах параметрами волн нагружения образцов. Каждое приведенное в таблице значение скорости волны разрежения является результатом усреднения 5—10 независимых регистраций, зафиксированных в серии тождественных опытов. Среднеквадратичные ошибки измерений скорости волны разрежения даны в таблице. Результаты измерений скорости волн разрежения во фторопласте-4, полученные при помощи манганинового датчика давления, находятся в хорошем согласии с данными аналогичных измерений [5], выполненных при помощи магнитоэлектрической методики измерения массовых скоростей. Согласованность между собой экспериментальных данных, полученных разными методами, сви-

детельствует о правильности значений скорости волн разгрузки, измеряемых при помощи манганинового датчика давления.

Обращает на себя внимание соотношение между волновыми, массовыми скоростями и скоростями волн разрежения у парафина, полиэтилена, фторопласта-4 и плексигласа. Если из данных таблицы рассчитать для перечисленных материалов тангенс угла боковой разгрузки [7] $\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{(C/D)^2 - [(D-u)/D]^2}$, то получаемая величина составит 1,0—1,1, что значительно превышает измеренные в [7] значения $\operatorname{tg} \alpha$ для ряда металлов, а также для NaCl (см. таблицу), составляющие лишь $\sim 0,7$. Не исключено, что столь высокие (1,0—1,1) значения $\operatorname{tg} \alpha$ являются характерными для органических материалов. Увеличение $\operatorname{tg} \alpha$ для кварцита в обследованной области от 1 до 1,5 по мере роста давления объясняется, по-видимому, протеканием в кварците фазового превращения первого рода подобно тому, как это наблюдалось ранее при изучении углерода [8] и нитрида бора [9]. Соответственно в 1,5—2 раза меньше для изучавшихся веществ и значения числа Маха $(D-u)/c$ по сравнению с материалами, исследовавшимися в [7].

Как показали результаты эксперимента, использование манганинового датчика давления позволяет производить надежные измерения скорости звука в неметаллах в области сравнительно низких (100—300 кбар) давлений, т. е. в области, где применение методов «догоняющей» и «боковой» разгрузок [7] с фотохронографическим способом регистрации становится затруднительным из-за недостаточной яркости свечения, возникающего при соударении тонкого «отмечающего» индикатора с поверхностью приемника, изготовленного из плексигласа или какого-либо другого оптически прозрачного материала. Достоинством предлагаемого метода является также возможность прямого и независимого определения в каждом отдельном опыте одновременно скорости звука, волновой скорости и давления.

Поступила 24 X 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений.— *Усп. физ. наук*, 1965, т. 85, вып. 2, с. 197.
3. Баканова А. А., Дудаладов И. П., Сутулов Ю. Н. Ударная сжимаемость пористых вольфрама, молибдена, меди и алюминия в области низких давлений.— *ПМТФ*, 1974, № 2, с. 117.
4. Трунин Р. Ф., Симаков Г. В., Подурец М. А., Монсеев Б. П., Попов Л. В. Динамическая сжимаемость кварца и кварцита при высоких давлениях.— *Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли*, 1971, № 1, с. 13.
5. Калашников Н. Г., Кулешова Л. В., Павловский М. Н. Ударное сжатие политетрафторэтилена до давлений $\sim 1,7$ М бар.— *ПМТФ*, 1972, № 4, с. 187.
6. Калашников Н. Г., Павловский М. Н., Симаков Г. В., Трунин Р. Ф. Динамическая сжимаемость минералов группы кальцита.— *Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли*, 1973, № 2, с. 23.
7. Альтшулер Л. В., Кормер С. Б., Бражник М. И., Владимиров Л. А., Сперанская М. П., Фунтиков А. И. Изэнтропическая сжимаемость алюминия, меди, свинца и железа при высоких давлениях.— *ЖЭТФ*, 1960, т. 38, вып. 4, с. 1061.
8. Павловский М. Н., Дракин В. П. К вопросу о металлической фазе углерода.— *Письма в ЖЭТФ*, 1966, т. IV (5), с. 169.
9. Альтшулер Л. В., Павловский М. П., Дракин В. П. Особенности фазовых превращений в ударных волнах сжатия и разгрузки.— *ЖЭТФ*, 1967, т. 52, вып. 2, с. 400