

образуется высокотемпературная плотная плазма: механическое разрушение породы вдали от очага происходит точно так же, как и при взрыве обычного ВВ, только в больших масштабах.

В данном случае величина \mathcal{E} прямо пропорциональна W

$$\mathcal{E} = \xi W \quad (6.1)$$

однако коэффициент пропорциональности ξ , разумеется, гораздо меньше, чем при взрыве обычного ВВ. Согласно данным, приведенным в работе [7], 20 ÷ 30% всей энергии W превращается в механическую энергию, что позволяет оценить величину ξ . Полученная зависимость (2.2) вместе с (6.1) достаточно хорошо описывает имеющиеся данные по подземным ядерным взрывам [7,10] (впрочем, как и закон Гопкинсона).

В заключение автор выражает признательность В. Н. Мосинцу за обсуждение данной работы.

Поступила 3 II 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. С е д о в Л. И. Методы подобия и размерности в механике. М., Гостехиздат, 1957.
2. С о б о л е в С. Л. Некоторые вопросы теории распространения колебаний. В кн.: Франк Ф. и Мизес Р. «Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики», М.—Л., ОНТИ, 1937.
3. С h e g e r a n o v G. P. Cracks in Solids. Int. J. Solids and Structures, 1968, vol. 4.
4. А ф а н а с ь е в Е. Ф., Ч е р е п а н о в Г. П. Автомодельные динамические задачи теории упругости для щели. Труды конференции по динамическим задачам теории упругости и пластичности. Кишинев, 1963.
5. Ч е д в и к П., К о к с А., Г о п к и н с Г. Механика глубинных подземных взрывов. М., «Мир», 1966.
6. Г р и г о р ь я н С. С. Об основных представлениях динамики грунтов. ПММ, 1960, т. 24, вып. 6.
7. А и т и к а е в Ф. Ф. Параметры сейсмических колебаний, возбужденных взрывом. Экспериментальная сейсмика. Тр. Ин-та физики Земли АН СССР, 1964, № 32 (199).
8. Ч е р е п а н о в Г. П. О влиянии импульсов на развитие начальных трещин. ПМТФ, 1963, № 1.
9. Ч е р е п а н о в Г. П., С о к о л и н с к и й В. Б. О разрушении хрупких тел при соударении. Труды конференции по контактнм задачам, М., 1969.
10. Н и ф о н т о в Б. И., П р о т о п о п о в Д. Д., С и т н и к о в И. Е., К у л и к о в А. В. Подземные ядерные взрывы. М., Атомиздат, 1965.

УДАРНАЯ СЖИМАЕМОСТЬ ПОЛИСТИРОЛА С РАЗЛИЧНОЙ НАЧАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

*И. П. Дудолодов, В. И. Ракитин, Ю. Н. Сутулов,
Г. С. Телегин*

(Москва)

Представлены результаты исследования динамической сжимаемости полистирола $[C_6H_5 - CH - CH_2]_n$ с начальной плотностью, равной 1,0, 0,7, 0,5 и 0,3 г/см³ до давлений 200—400 кбар. Приведены D (волновая скорость) — ρ_0 (начальная плотность)-зависимости для образцов нормальной и пониженной плотности, полученные в идентичных условиях.

Даны соотношения волновая скорость — массовая скорость для полистирола нормальной и пониженной плотности и их ударные адиабаты.

Подобрано простейшее уравнение состояния, удовлетворительно описывающее всю совокупность экспериментальных данных.

Изучение ударной сжимаемости полистирола с различной начальной плотностью проводилось по «методу отражения», подробно изложенному в [1-3]. Давления, реализуемые в исследуемых образцах, были получены при помощи измерительных устройств, описанных в [4,5]. Скорость распространения ударных волн в образцах регистрировалась электроконтактным методом. В качестве экранов, прикрывающих об-

разцы, использовались алюминиевые и медные диски. Ударные адиабаты экранов приняты по [6] в виде

$$\begin{aligned} D &= 5.25 + 1.39u \quad (0 < u < 5) \text{ алюминий} \\ D &= 3.95 + 1.50u \quad (0 < u < 4) \text{ медь} \end{aligned} \quad (1)$$

где D — скорость ударной волны [км/сек], u — массовая скорость вещества [км/сек].

Материал экранов и массовые скорости в них для использованных измерительных устройств представлены в левых столбцах табл. 1.

Таблица 1

Номер измерительного устройства	Материал экрана	u [км/сек]	A	B
1	Al	0.69	1.276	2.123
2	Al	1.51	2.998	2.54
3	Cu	1.76	3.70	2.669
4	Al	2.76	6.05	1.22
5	Al	2.82	6.63	0.776
6	Al	3.70	8.23	1.181

Постановка опытов осуществлялась в двух вариантах. В ряде опытов исследуемые образцы изготовлялись в виде дисков, диаметром 40 и высотой 4 мм. В другом случае образцы представляли собой таблетки диаметром 12 и высотой 4 мм. В первом случае все контакты размещались в одном образце, во втором измерение осуществлялось одновременно на трех таблетках.

Редакция опытов приведена на фиг. 1, а и 1, б, где S — ударная волна, 1 — образец, 2 — экран, 3 — электроконтакты.

Непосредственно результатом эксперимента являлись зарегистрированные волновые скорости в исследуемых образцах.

Полученные экспериментальные данные по исследованию динамической сжимаемости полистирола различной плотности представлены на фиг. 2. По оси ординат отложены волновые скорости D , по оси абсцисс — исходные плотности образцов ρ_0 , точки 1 относятся к первой редакции опытов, точки 2 — ко второй. Стрелками указан максимальный разброс волновых скоростей, полученный на образцах, выполненных во второй редакции.

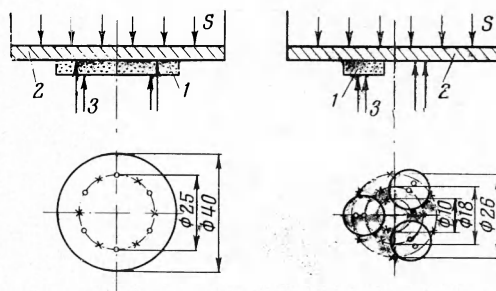
Как показывает диаграмма, во всех случаях с увеличением плотности образцов волновые скорости возрастают. Эта тенденция сильно выражена на «слабых» системах и менее заметна на взрывных устройствах, создающих сильные ударные волны. В своей совокупности экспериментальные результаты для отдельных зарядов с хорошей точностью располагались вдоль прямых. Аналитически $D\rho_0$ -зависимости были аппроксимированы линейными соотношениями вида $D = A + B\rho_0$, коэффициенты которых были найдены по методу наименьших квадратов. Численные значения коэффициентов приведены в правой части табл. 1.

Приведенные на $D\rho_0$ -диаграмме и в табл. 1 данные определяют значения волновых скоростей для широкого диапазона давлений и начальных плотностей. Для дальнейшего анализа авторами были выбраны четыре значения плотности — 0.3, 0.5, 0.7 и 1.05 г/см³. Значения массовых скоростей были найдены графическим построением на диаграммах давление — скорость, а давления и плотности получены из законов сохранения

$$P = \rho_0 D u \quad (2)$$

$$\rho = \rho_0 D / D - u \quad (3)$$

На фиг. 3 в Du -координатах приведены ударные адиабаты полистирола с указанными плотностями 0.3, 0.5, 0.7 и 1.05 г/см³.



Фиг. 1

Там же представлены результаты американских исследователей для полистирола с $\rho_0 = 1.05 \text{ г/см}^3$ (точки 1 — по [6], точки 2 — по [7], точки 3 — по [8]).

Как видно из фигуры, данные [6,7] располагаются выше прямой, полученной авторами. Фазовый переход, фиксируемый Хауэром [7] в полистироле, подтверждается и нашими экспериментами. D - u зависимости фиг. 3 записаны уравнениями вида

$$D = c_0 + \lambda u \quad (4)$$

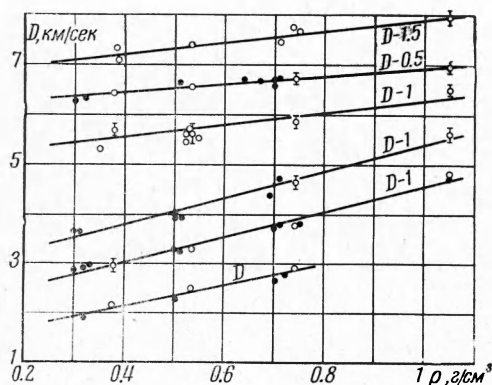
с коэффициентами c_0 и λ , найденными по методу наименьших квадратов с учетом статистических весов. Последние принимались пропорциональными числу измерений проведенных на данном типе образцов. Значения коэффициентов c_0 и λ приведены в табл. 2.

Таблица 2

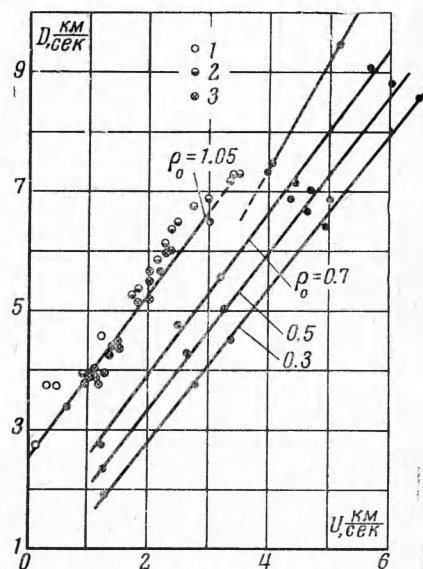
Плотность [г/см ³]	c_0 [км/сек]	λ	Интервал по u
0.3	0.15	1.29	$1.2 < u < 6.5$
0.5	0.70	1.31	$1.2 < u < 6.2$
0.7	1.19	1.35	$1.2 < u < 5.7$
1.05	2.51	1.36	$0 < u < 3$

По уравнениям (2) — (4) на фиг. 4 в координатах P - σ ($\sigma = \rho/1.05$) построены ударные адиабаты, характеризующие сжимаемость пенополистирола различной плотности. Наиболее круто расположены адиабаты сильно пористых образцов, аккумулирующих в процессе ударного сжатия большие количества тепловой энергии.

У этих образцов их сопротивления ударному сжатию при больших давлениях определяются почти целиком тепловым давлением частично диссоциирующих молекул пенополистирола.



Фиг. 2



Фиг. 3

Для верхних точек левой адиабаты $\rho_0 = 0.3 \text{ г/см}^3$ отношение теплового давления к плотности тепловой энергии

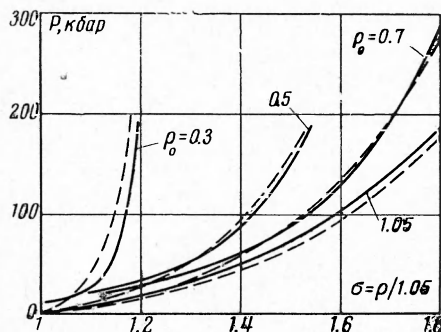
$$\gamma = \frac{P_T}{\rho_{ET}} \approx \frac{2}{\rho_T (1/\rho_0 - 1/\rho_T)} = 0.58$$

Наилучшему написанию экспериментальных данных соответствует значение $\gamma = 0.6$.

Этот важный термодинамический параметр был использован при подборе простейшего уравнения состояния, связывающего давление P и внутреннюю энергию E

$$P - P_x = (E - E_x) \gamma \rho, \quad P_x = -\frac{dE}{dv} = \frac{\rho_0 c_0^2}{n} (\sigma^n - 1) \quad (5)$$

В этом уравнении P_x определяет сопротивление сжатию при температуре абсолютного нуля ($\rho_0 = 1.05 \text{ г/см}^3$, $n = 4.4$, $c_0 = 2.3 \text{ км/сек}$).



Фиг. 4

Выбранный вид уравнения состояния приводит к уравнению динамической адиабаты в форме

$$P_{\Gamma} = \frac{\rho_0 c_0^2}{n(h - k\sigma)} \left[\left(h - \frac{n+1}{n-1} \right) \sigma^n + \frac{2n}{n-1} \sigma - (h+1) \right] \quad (6)$$

и изэнтроп

$$P_s = P_x + \left(\frac{\sigma}{\sigma_{\Gamma}} \right)^{(h+1)/(h-1)} [P_{\Gamma}(\sigma_{\Gamma}) - P_x] \quad (7)$$

В уравнениях (6) и (7) $h = 1 + 2/\gamma = 4.35$ и $k = 1.05/\rho_0$ есть коэффициент «пористости».

Расчитанные по уравнению (6) адиабаты помечены на фиг. 4 пунктиром. Они удовлетворительно описывают ход «пористых адиабат» и адиабату сплошного полистирола до области фазового перехода. Не представляет труда, имея уравнение (7), найти ход изэнтроп. Что же касается изотерм, то их положение не может быть выяснено сколь-нибудь точно, так как теплоемкость пенополистирола и энергии диссоциации его молекул известны с малой степенью точности.

Поступила 11 XI 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшулер Л. В., Крупников К. К., Леденев Б. Н., Жучихин В. Н., Бражник М. И. Динамическая сжимаемость и уравнение состояния железа при высоких давлениях. ЖЭТФ, 1958, т. 34, вып. 4.
2. Solid state physics. Acad. Publ., N. Y., 1958, vol. 6.
3. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений. Усп. физ. наук, 1965, т. 85, вып. 2.
4. Альтшулер Л. В., Павловский М. Н., Кулешова Л. В., Симмаков Г. В. Исследование галогенидов щелочных металлов при высоких давлениях и температурах ударного сжатия. Физика твердого тела, 1963, т. 5, № 1.
5. Альтшулер Л. В., Кормер С. Б., Баканова А. А., Трунин Р. Ф. Уравнение состояния алюминия, меди и свинца для области высоких давлений. ЖЭТФ, 1960, т. 38, вып. 3.
6. Wagner M. H., Waldorf W. F. Compendium of shock wave data. Univ. California, 1966, vol. 2.
7. Hauser G. E. Shock-induced polarisation in plastic, II, Experimental study of plexiglas and polystyrene. J. Appl. Phys., 1965, vol. 36, No. 7.
8. Berger J. Compendium of shock wave data. Univ. California, 1966, vol. 2.