

03

©1995

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ В ПОРИСТОМ СЖИМАЕМОМ ПОЛИЭТИЛЕНЕ С ЗАКРЫТЫМИ ЯЧЕЙКАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО УДАРНОЙ ВОЛНЫ

*Ю. П. Лагутов, Ю. Л. Шаров*

В работе [1] было обнаружено, что при воздействии ударной волны на твердую поверхность, покрытую пористым сжимаемым материалом, амплитуда импульсного давления превышает давление нормального отражения от поверхности без покрытия. Увеличение давления объяснялось воздействием вовлекаемой в движение твердой фазы пористого материала на стенку.

В работах [2-4] представлены результаты дальнейших экспериментов по взаимодействию ударных волн с пористыми материалами. В частности, с помощью датчиков давления измерены скорости распространения некоторых возмущений в пористой среде. Такие измерения связаны с неоднозначностью интерпретации данных и большими ошибками.

В данной работе визуализирован процесс распространения возмущений внутри пористого сжимаемого полиэтилена с закрытыми ячейками при воздействии на него ударной волны с числом Маха  $M_0 = 1.55$ , распространявшейся в воздухе при давлении  $P_0 = 10^5$  Па. Определены скорости распространения фронтов возмущений в пористой среде и плотности за ними. Измерено распределение давления по поверхности квадратного ( $72 \times 72$  мм) торца ударной трубы, покрытого пористым материалом. Показана одномерность распространения возмущений в пористой среде в рассматриваемый отрезок времени. Визуализирована причина многократного превышения давления на твердой поверхности, покрытой пористым сжимаемым материалом, при воздействии ударной волны над давлением нормального отражения от поверхности без покрытия.

Для визуализации применялся теневой прибор ИАБ-451 и фоторегистратор ЖФР-1, работающий в режиме фоторазвертки. Давление измерялось пьезоэлектрическими датчиками. Образец представлял собой параллелепипед с размерами  $72 \times 72 \times 54$  мм. При нормальных условиях плотность материала образца  $\rho_0 = 33.2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , коэффициент пористости  $\alpha = 0.97 \pm 0.01$ . На боковой поверхности образца наносились

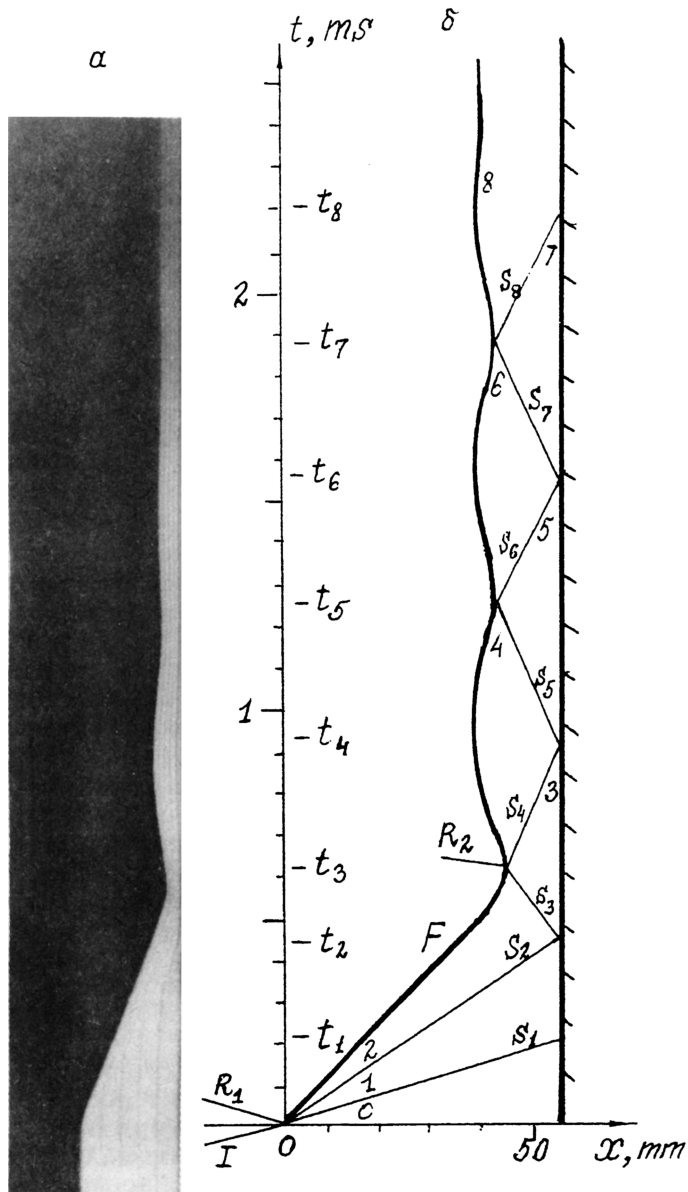


Рис. 1.

вертикальные полосы на расстоянии 10 мм друг от друга. Фоторегистрация производилась в отраженном свете.

На рис. 1, а представлена фоторазвертка процесса взаимодействия ударной волны с исследуемым образцом. Видны падающая и отраженная от свободной поверхности образца ударные волны, а также фронты распространяющихся в среде возмущений. На рис. 1, б приведена ( $x - t$ ) диаграмма рассматриваемого процесса. Диаграмма представляет собой схематическое повторение фоторазвертки с изменением масштаба вдоль оси  $X$  до реального.

Как видно на рис. 1, а, б, падающая ударная волна  $I$ , распространяющаяся со скоростью  $u_0 = 0.535$  км/с в момент времени  $t = 0$ , воздействует на свободную поверхность образца  $F$ . При этом возникает отраженная ударная волна  $R_1$ , распространяющаяся вверх по потоку со скоростью  $u_1 = 270$  м/с. Поверхность  $F$  вначале движется к торцу с постоянной скоростью  $v_F = 77$  м/с, а затем совершает затухающие колебания с периодом  $T \simeq 675$  мкс.

В результате воздействия ударной волны в образце возникает волна сжатия с фронтом  $S_2$ , распространяющаяся со скоростью  $v_2 = 121$  м/с по направлению к торцу. По излому линий на рис. 1, а видно, что перед фронтом  $S_2$  движется фронт слабого возмущения  $S_1$  со скоростью  $v_1 = 224$  м/с. В момент времени  $t_1$  фронт слабого возмущения достигает торца камеры низкого давления.

В момент времени  $t_2$  фронт волны сжатия  $S_2$  отражается от торца и распространяется в противоположном направлении по сжатому материалу в виде фронта волны сжатия  $S_3$  со скоростью  $v_3 = 56$  м/с.

Как видно из рис. 1, а, б, после прихода волны сжатия на поверхность торца в момент времени  $t_2$  происходит дальнейшее движение материала к торцу по инерции и его сжатие. При этом достигается максимальное давление на торец в интервале времени 500–700 мкс от начала воздействия ударной волны на образец. Это видно как на рис. 1, а, б, так и на осциллограммах рис. 2, а, б, в. Момент начала взаимодействия на осциллограммах определялся с помощью измеренной скорости движения фронта слабого возмущения  $S_1$ .

Таким образом, это сжатие пористого материала при его движении по инерции, которое происходит после прихода фронта волны сжатия к торцу, является причиной многократного превышения амплитуды давления над давлением нормального отражения ударной волны от поверхности без покрытия.

В момент времени  $t_3$  фронт волны сжатия  $S_3$  достигает свободной поверхности образца  $F$ . При этом формируется

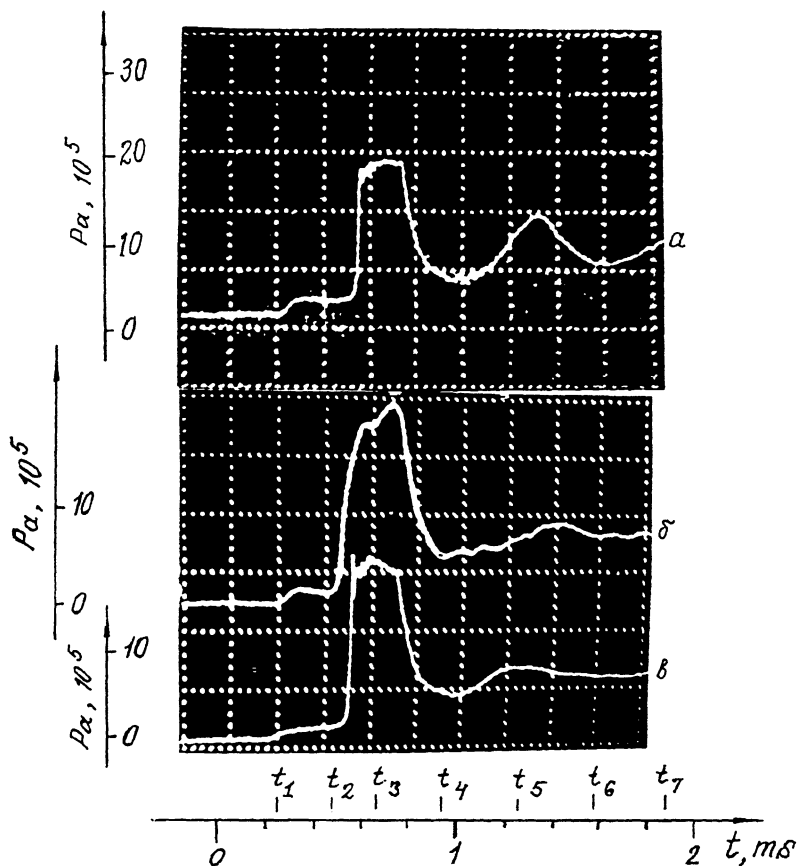


Рис. 2.

вторая отраженная ударная волна  $R_2$  [5], распространяющаяся вверх по потоку. В этот же момент времени  $t_3$  в материале образуется волна разрежения с фронтом  $S_4$ , который распространяется со скоростью  $v_4 = 30$  м/с от свободной поверхности  $F$  к торцу. В момент времени  $t_4$  фронт волны разрежения достигает торца и в виде слабой волны сжатия  $S_5$  распространяется от торца со скоростью  $v_5 = 38$  м/с. В дальнейшем скорости фронтов слабых волн сжатия ( $S_7$ ) и разрежения ( $S_6, S_8$ ), в пределах точности эксперимента были одинаковы и равнялись  $38 \pm 1$  м/с.

По наклонам линий на рис. 1, *a* можно сделать заключение, что параметры состояния материала образца имеют в каждой из областей 0 — 8 на рис. 1, *b* свои постоянные значения. В моменты времени  $t_2 - t_8$  на рис. 1, *b* пористый материал однороден по всему объему. Зная массу вещества образца и измерив размер образца вдоль оси  $X$ , определяем его объем и плотность в каждый из этих моментов времени. В момент времени  $t_1$  объем пористого образца состоит из двух частей. Каждая из этих частей однородна: за фронтом  $S_1$  с плотностью  $\rho_1$  и за фронтом  $S_2$  с плотностью  $\rho_2$ . Измерив размеры этих частей вдоль оси  $X$  на рис. 1, *b* и зная  $\rho_2$ , определяем  $\rho_1$ . В результате получим плотности материала образца в соответствующих областях на рис. 1, *b*:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 1.06\rho_0, & \rho_2 &= 2.70\rho_0, & \rho_3 &= 5.60\rho_0, & \rho_4 &= 3.57\rho_0, \\ \rho_5 &= 4.35\rho_0, & \rho_6 &= 3.70\rho_0, & \rho_7 &= 4.35\rho_0, & \rho_8 &= 4.17\rho_0. \end{aligned}$$

На рис. 2 представлены осциллограммы давления в трех точках квадратного торца: в центре (рис. 2, *a*), на перпендикуляре из центра на сторону на расстоянии 10 мм от стороны (рис. 2, *b*) и на биссектрисе угла на расстоянии 10 мм от сторон (рис. 2, *в*).

С помощью диаграммы на рис. 1, *b* определялось начало взаимодействия  $t = 0$  на всех осциллограммах рис. 2. В момент времени  $t_1$  фронт слабого возмущения приходит к торцу и на осциллограммах фиксируется первое повышение давления. Следующее повышение в момент времени  $t_2$  связано с приходом фронта волны сжатия  $S_2$  к торцу и дальнейшим движением пористого материала по инерции. В момент времени  $t_3$  достигается наибольшее давление на торец. В дальнейшем происходит ослабление давления и с приходом к торцу волны разрежения в момент времени  $t_4$  давление достигает наименьшего значения. В дальнейшем изменение давления на торце имеет характер затухающих колебаний с частотой  $\nu \simeq 1480$  Гц.

Как видно на рис. 2, распространение возмущений в пористом сжимаемом полиэтилене с закрытыми ячейками при воздействии на него ударной волны можно считать однородным в рассматриваемый период времени.

Таким образом, в работе представлена визуализация процесса распространения возмущений внутри пористого сжимаемого полиэтилена с закрытыми ячейками при воздействии на него ударной волны. Определены скорости распространения фронтов этих возмущений. Определены плотности вещества за фронтами возмущений. Показана одномерность распространения этих возмущений в образце. Экспериментально показано, что многократное превышение амплитуды давления на жесткой поверхности, покрытой пористым сжимаемым материалом, при воздействии ударной

волны над давлением нормального отражения ударной волны без пористого материала вызвано ударом сжатого пористого материала о стенку после прихода фронта волны сжатия к торцу.

### Список литературы

- [1] Гельфанд Б.Е., Губин С.А., Козарко С.Н., Попов Д.Е. // ПМТФ. 1975. Т. 16. В. 6. С. 74-77.
- [2] Гвоздева Л.Г., Фаресов Ю.М., Фокеев В.П. // ПМТФ. 1985. Т. 26. В. 3. С. 111-115.
- [3] Гвоздева Л.Г., Фаресов Ю.М. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 19. С. 1153-1156.
- [4] Skews B.W. // Shock Waves. 1991. V. 1. N 3. P. 205-211.
- [5] Monti R. // Meccanica. 1970. V. 5. N 4. P. 285-296.

Институт высоких температур  
Москва

Поступило в Редакцию  
2 августа 1994 г.  
В окончательной редакции  
18 ноября 1994 г.

