

состоит из двух скачков 31 и 33 ГПа. Разумно предположить, что это связано с возникновением двухволновой конфигурации, соответствующей фазовому переходу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Алдер.— В кн.: Твердые тела под высоким давлением/Под ред. В. Пол, Д. Варшауэр. М.: Мир, 1966.
2. Л. В. Альшутер, Л. В. Кулешова, М. Н. Павловский. ЖЭТФ, 1960, 39, 1, 16.
3. Г. И. Канель, А. М. Молодец, А. А. Воробьев. ФГВ, 1974, 10, 6, 884.
4. С. С. Набатов, А. Н. Дремни, В. И. Постнов и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 7, 407.
5. Г. И. Канель, Г. Г. Вахитова, А. Н. Дремни. ФГВ, 1978, 14, 2, 130.
6. В. И. Постнов.— В кн.: Нестационарные проблемы гидродинамики. Вып. 48. Новосибирск, 1980.
7. В. В. Якушев, С. С. Набатов, О. Б. Якушева. ФГВ, 1974, 10, 4, 583.
8. Ю. Н. Тюняев, Ю. В. Лисицын, Е. З. Новицкий и др.— В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1972.
9. Л. В. Альшутер. УФН, 1965, 85, 2, 197.
10. Compendium of shock wavedata, ed by M. van Thil. V. 2. L. L. L., University of California/Livermore, 1977.

УДК 539.89+537.226

### ИНДУЦИРОВАННАЯ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ВИНИПЛАСТА

*А. П. Курто, А. Г. Ангипенко, А. Н. Дремни, В. В. Якушев*  
(Черноголовка)

Возникновение во фронте ударной волны (ФУВ) электрической поляризации (ударной поляризации) полимеров обнаружено в [1]. Ряд авторов считает [1—4], что причина явления заключается в ориентации элементарных диполей, входящих в состав макромолекулы. Иная точка зрения высказывается в [5, 6]: внутри ФУВ происходит механодеструкция макромолекул с разделением электрически заряженных «обломков» в поле сил фронта. Один из основных выводов модели [5, 6] состоит в том, что значительную величину ударной поляризации можно ожидать только в полимерах, мономерное звено которых имеет достаточно сложную структуру, например, полисульфон, полиметилметакрилат, полипиромелитимид, полистирол и др. Такие полимеры легко подвергаются механодеструкции. С другой стороны, согласно [5], в полимерах типа поливинилхлорида (ПВХ) с простыми звеньями эффект должен быть невелик. Последнее утверждение не согласуется с данными единичных экспериментов [7], выполненных для винипласта (пластмассы на основе ПВХ) при давлении 15,5 ГПа.

Представляло интерес более подробно количественно исследовать ударную поляризацию ПВХ в широком диапазоне динамических давлений, чему и посвящена настоящая работа.

#### Постановка экспериментов

В качестве объекта исследований выбран винипласт марки ВНЭ плотностью 1,40 г/см<sup>3</sup>, имеющий следующий состав (в % по массе): ПВХ — 92,6, свинцовый глет — 2,6, стеарат кальция — 1,1, стеарин — 0,9, веретенное масло — 2,8.

Схема экспериментов представлена на рис. 1. На медном или алюминиевом электроде-экране 1 диаметром 80 и толщиной 8 мм находился образец винипласта 2 в виде диска диаметром 17 и толщиной 2 мм. Охранное кольцо 3 и верхний электрод 4 диаметром 8 мм наносили путем химического меднения. Ширина зазора между ними не превышала

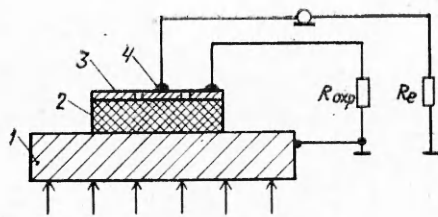


Рис. 1. Схема экспериментального устройства.

1 — электрод-экран; 2 — образец; 3 — охранный кольцо; 4 — электрод. Стрелками показано направление движения ударной волны.

0,1 мм. Электрические сигналы подавались на осциллограф ОК-33, имеющий входное сопротивление  $R_e = 75$  Ом. Величину сопротивления нагрузки охранный кольца  $R_{оxp}$  выбирали таким образом, чтобы произведения площадей центрального электрода и кольца на соответствующие сопротивления нагрузок были одинаковыми. Близкая к одномерной ударная волна создавалась взрывной системой, состоящей из генератора плоской детонационной волны и заряда взрывчатого вещества диаметром 80 и высотой 120 мм.

### Результаты

Типичная осциллограмма электрического сигнала приведена на рис. 2. В начальный момент  $t_0 = 0$  ударная волна входит в образец, момент  $t_1$  соответствует контакту ФУВ со вторым электродом. Для определения ударной адиабаты полимера по длительности сигнала и известной толщине образца рассчитывали скорость ФУВ ( $v$ ). Зная состояние экрана, методом отражения находили массовую скорость ( $u$ ), давление ( $p$ ) и сжатие ( $\sigma$ ). На рис. 3 приведена адиабата, полученная методом наименьших квадратов в координатах  $v - u$ . Она состоит из двух линейных участков:  $v = 2,28 + 1,65u$  ( $0,4 \leq u \leq 1,4$ );  $v = 1,59 + 1,89u$  ( $1,6 \leq u \leq 3,0$ ). Скорости выражены в км/с.

Расчет параметров ударной поляризации проводили в рамках одномерной феноменологической теории Аллисона [8], которая дает зависимость поляризационного тока  $i$  от времени в виде

$$i(t) = \frac{P_0 S}{\kappa t_1} \frac{\left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right) \frac{t}{t_1} \right] e^{-\frac{t}{\tau}} + \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right) \frac{\tau}{t_1} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)}{\left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{\kappa} \right) \frac{t}{t_1} \right]^2},$$

где  $P_0$  — начальная электрическая поляризация на ФУВ;  $\tau$  — время релаксации поляризации;  $\kappa = \sigma \epsilon_2 / \epsilon_1$ ;  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  — диэлектрические проницаемости соответственно исходного и сжатого вещества;  $\sigma = v/v - u$ ;  $S$  — площадь датчика. Значения  $P_0$ ,  $\kappa$ ,  $\tau$  находили, минимизируя по этим параметрам сумму квадратов отклонений экспериментальных и расчетных величин тока на участке от некоторого момента  $t^*$  до  $t_1$ . Такой способ обработки позволяет уменьшить влияние искажений сигнала, обусловленных неизбежной в реальном эксперименте разновременностью входа ударной волны в образец  $t_2$ .

Примеры расчетных и экспериментальных кривых изображены на рис. 4. В таблице приведены значения расчетных параметров ударной поляризации. На рис. 5 показана зависимость  $P_0$  от  $\sigma$  для винилпласта.

### Обсуждение результатов

Излом ударной адиабаты при 8,5 ГПа свидетельствует о том, что начиная с этого давления, за время измерения, т. е. меньше чем за 0,5 мкс, винилпласт претерпевает превращение с уменьшением объема. По аналогии с низкомолекулярными жидкостями [9] его можно трактовать как быструю химическую реакцию (деструкцию полимера). Об этом же свидетельствуют проведенные отдельные эксперименты по измерению

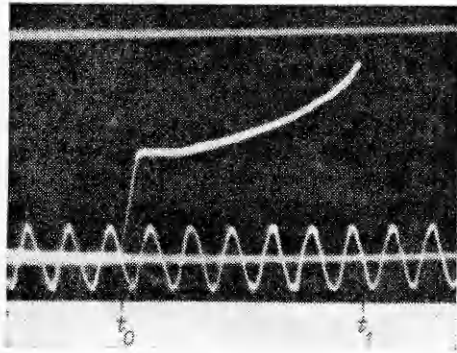


Рис. 2. Осциллограмма опыта с виннипластом; давление 3,4 ГПа, калибровочное напряжение 0,214 В, частота меток времени 10 МГц.

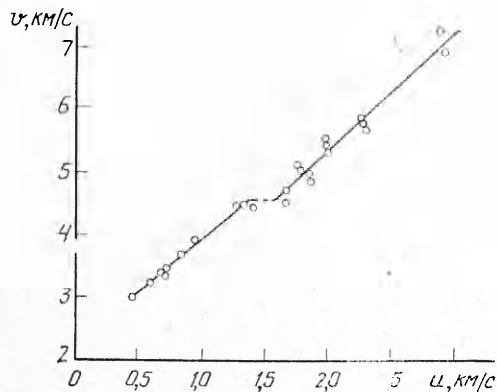


Рис. 3. Ударная адиабата виннипласта.

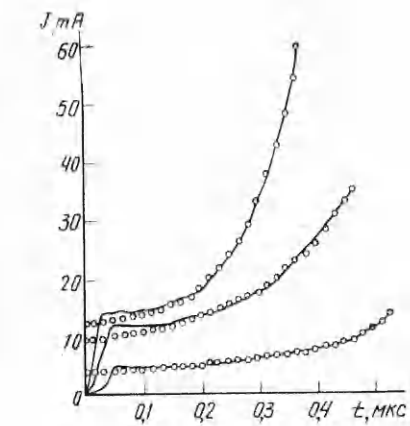


Рис. 4. Зависимости поляризационного тока от времени. Сплошные линии — эксперимент, кружки — расчет.

Давление за ФУВ, ГПа: 1 — 5,1, 2 — 8,1, 3 — 15,3.

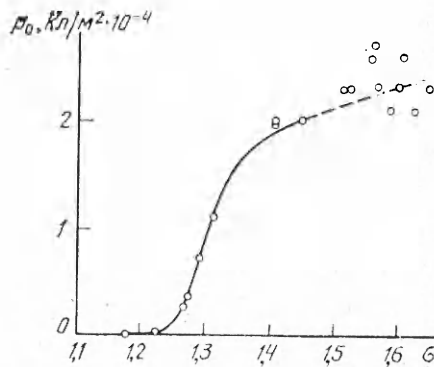


Рис. 5. Зависимость  $P_0$  от  $\sigma$ .

электропроводности виннипласта, аналогичные [10]. Оказалось, что в области ниже излома на ударной адиабате проводимость не превышает предела чувствительности методики, составляющего  $10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ . В то же время при давлении 15 ГПа она постепенно растет за ФУВ, достигая через 1,5 мкс величины  $10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ , а при давлении 18 ГПа через 1 мкс за фронтом проводимость возрастает до  $0,5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ . Так как модель Аллисона не учитывает возникновения проводимости, то величины параметров ударной поляризации для давлений выше излома адиабаты следует рассматривать как формальные. Более подробные измерения проводимости станут предметом дальнейших исследований.

Анализ формы осциллограмм поляризационного тока говорит о том, что существует спектр релаксационных процессов. Поэтому, как правило, (см. рис. 4), не удастся описать весь экспериментальный сигнал теоретической кривой с одним временем релаксации. В таких случаях величину  $t^*$  выбирали достаточно большой, обычно  $(0,2 \div 0,4) t_1$ . При этом быстрые релаксационные процессы, дающие пик тока в начале сигнала, из рассмотрения исключаются. Следует отметить, что их количественное изучение затруднено из-за влияния кривизны и перекосов ФУВ.

В диапазоне давлений до излома адиабаты величина начальной ударной поляризации в виннипласте оказалась выше, чем в полиметилметакрилате [2] и полипиромелитимиде [5] (полимерах со значительно более сложной структурой мономерного звена), и лишь несколько (не

$p$ , ГПа	$v$ , км/с	$\sigma$	$t_1$ , мкс	$P_0$ , $10^{-4}$ КД/м <sup>2</sup>	$\kappa$	$\tau$ , мкс
1,8	2,97	1,17	0,70	0,002	0,95	1,3
2,7	3,29	1,22	0,59	0,09	2,0	0,3
3,4	3,43	1,26	0,59	0,3	2,0	0,5
3,4*	3,42	1,26	0,61	—	—	—
3,4	3,36	1,27	0,61	0,3	2,1	0,4
4,3	3,70	1,29	0,53	0,7	2,0	0,7
5,2	3,92	1,31	0,53	1,1	2,0	0,9
8,1	4,46	1,41	0,45	2,0	2,3	0,7
8,1	4,48	1,41	0,46	2,0	2,3	0,7
8,6	4,45	1,45	0,46	2,0	2,4	0,8
10,3	4,52	1,57	0,43	2,3	2,6	0,6
10,6	4,67	1,53	0,44	2,3	2,4	0,6
12,5	5,08	1,53	0,39	2,3	2,6	0,6
12,5	5,08	1,53	0,41	2,7	2,6	0,5
12,6	4,86	1,62	0,42	2,3	2,5	0,6
12,8	4,97	1,59	0,42	2,1	2,5	0,6
14,9	5,32	1,61	0,37	2,6	3,0	0,4
15,2	5,44	1,58	0,37	3,9	3,3	0,2
15,3	5,54	1,56	0,37	2,6	3,1	0,3
18,3*	5,72	1,66	0,34	—	—	—
18,4	5,83	1,63	0,34	2,1	3,5	0,2
18,4	5,78	1,65	0,36	2,4	3,2	0,2
28,0*	6,9	1,72	0,33	—	—	—
29*	7,25	1,65	0,33	—	—	—

\* — Специальные опыты для измерения ударной адиабаты.

более чем в полтора раза) ниже, чем в полисульфоне, где эффект максимален среди исследованных полимеров [6].

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что пока нет оснований отказываться от ориентационной модели ударной поляризации в полимерах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. J. Eichelberger, G. E. Hauver. Les ondes de détonation. Paris, 1962.
2. G. E. Hauver. J. Appl. Phys., 1965, 36, 7, 2113.
3. M. de Icaza-Herrera, A. Migault, J. Jacquesson. C. R. Acad. Sci., Paris, 1977, 284B, 503.
4. M. de Icaza-Herrera. Thèse de 3<sup>e</sup> Cycle, l'Université de Poitiers. 1976.
5. R. A. Graham. J. Phys. Chem., 1979, 83, 23, 3048.
6. R. A. Graham. Shock Waves in Condensed Matter, 1981 (Menlo Park). American Institute of Physics, N. Y., 1982.
7. Е. З. Новицкий, А. Г. Иванов, П. Р. Хохлов.— В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1971. 579.
8. F. E. Allison. J. Appl. Phys., 1965, 36, 7, 2111.
9. О. Б. Якушева, В. В. Якушев, А. Н. Дремни. ЖФХ, 1977, 60, 7, 1656.
10. В. В. Якушев, С. С. Набатов, О. Б. Якушева. ФГВ, 1974, 10, 4, 583.

УДК 539.374

### ПЛОСКОЕ СОУДАРЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИН РАВНОЙ ТОЛЩИНЫ

А. А. Дерibas, И. Д. Захаренко, В. М. Фомин, Э. М. Хакимов  
(Новосибирск)

**Постановка задачи.** Рассмотрим задачу о соударении двух металлических пластин одинаковой толщины  $l$  со скоростью  $u_0$  в вакууме и с наличием воздушной прослойки толщиной  $l_0$ . Считаем, что длина пластин много больше их толщины, потому будем изучать процесс взаимодействия волн в одномерном приближении. Одномерное движение среды для