

6. Enig J. W., Petrone F. G. Equal of state and derived shock initiation criticality conditions for liquid explosives.— Phys. Fluids, 1966, vol. 9, p. 398.
7. Prieto F. E. System independent releas adiabats from shocked states.— J. Phys. Chem. Solids, 1975, vol. 36, p. 871.
8. Трофимов В. С. Простой термодинамический метод оценки температуры ударного сжатия конденсированной среды.— ФГВ, 1973, № 4.

УДК 532.593:620.17

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКОЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ТЕЛ

А. П. Рыбаков  
(Даугавпилс)

В механике деформируемых сред особое место занимает разрушение специфического вида. Откол возникает вследствие волнового течения, реализующегося в образце конечных размеров при высокоскоростном ударе, либо контактном взрыве, и заключается в отделении части образца вблизи свободной поверхности от основной массы образца. Можно сказать, что откол — динамическое разрушение — имеет универсальный характер. Он наблюдается для различных твердых тел: металлов, многослойных композитов, скальных пород, полимеров. Образование откола экспериментально зафиксировано и для жидкостей. Жидкости при интенсивном динамическом нагружении подобны твердым телам и претерпевают откольное разрушение. В частности, в работе [1] отмечено образование откола в воде, глицерине, масле. Исследованиям способов определения и получению самих количественных характеристик откольного разрушения посвящены работы: [2] для воды и этилового спирта, [3] для глицерина, [4,5] для глицерина и ртути, а также [6] для воды, этилового спирта, глицерина и ацетона. Кроме того, в [7] исследовано откольное разрушение в легкоплавких металлах, оставшихся в жидком состоянии после ударного нагружения и последующей разгрузки.

Для построения моделей динамического разрушения при отколе в конденсированных телах необходимы данные для возможно большего числа групп конденсированных тел, в том числе жидких.

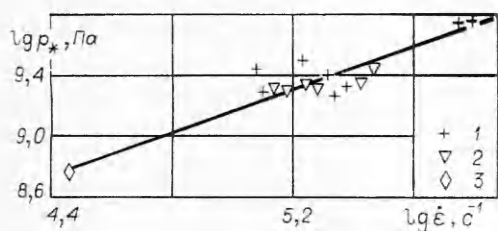
В данной работе исследованы металлы и сплавы (магний, сталь Ст. 3, алюминиевый сплав Д16, свинец), жидкости (вода, этиловый спирт, глицерин, ацетон) и пластмассы (плексиглас, капролон, полистирол, парафин). Примененная при этом экспериментальная техника и способ обработки результатов подобны использованным в работе [6].

Полученные экспериментальные результаты показаны на фиг. 1—3. На фиг. 1 результаты для свинца: *I* — данные настоящей работы, *2* — [8], *3* — [9]. На фиг. 2 результаты для глицерина — *I*, воды — *II*, этилового спирта — *III*: *1* — данные настоящей работы, *2* — [2], *3* — статическая прочность на разрыв [10, 11]. На фиг. 3 результаты для плексигласа — *I*, полистирола — *II*, парафина — *III*, капролона — *IV*: *1* — данные настоящей работы, *2* — [2], *3* — статическая прочность на разрыв [12].

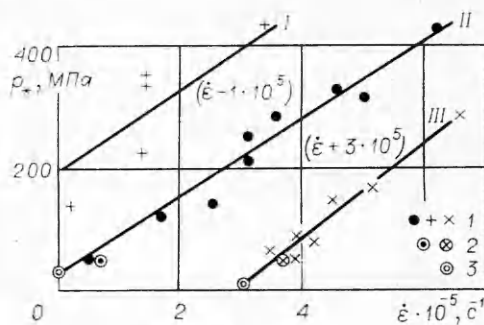
Процедура приведения данных других исследователей к переменным: разрушающее напряжение  $p_*$ , скорость деформирования  $\dot{\epsilon}$  — описана в [13]. Результаты для стали Ст. 3 и алюминиевого сплава Д16 приведены в [13].

Исследованные материалы разделились на две группы: с линейной зависимостью разрушающего напряжения от скорости деформирования

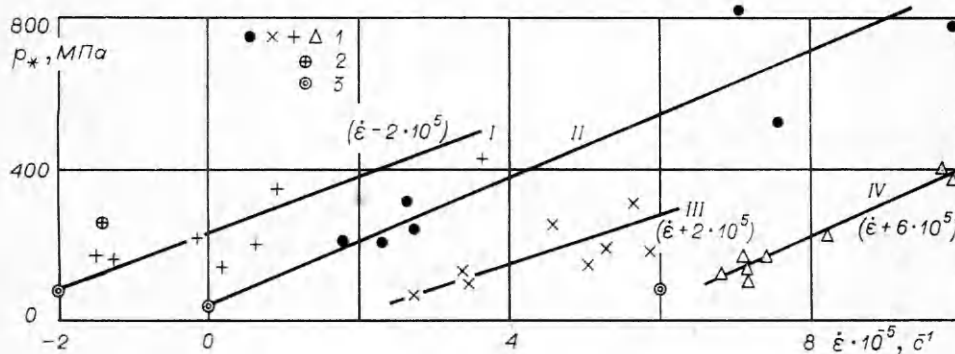
$$(1) \quad p_* = a_0 + a_1 \dot{\epsilon}$$



Ф и г. 1



Ф и г. 2



Ф и г. 3

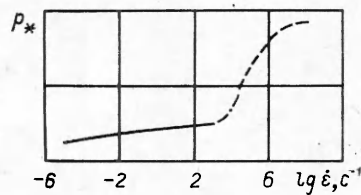
и со степенной зависимостью

$$p_* = b_0 (\dot{\epsilon})^{b_1}.$$

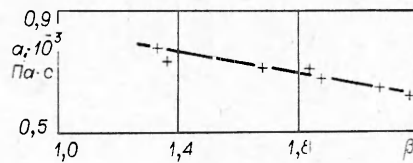
Материалы с линейной зависимостью (1) имеют значительно меньшую вязкость в начальном состоянии. Для таких материалов изменение  $p_*$  с  $\dot{\epsilon}$  качественно можно связать с вязкостью  $\eta$ :  $p_* \sim \eta \dot{\epsilon}$ . Этот результат следует, в частности, из данных для рассмотренного, например, в работе [14] вязкого откола. Кроме того, к этой зависимости можно прийти, выбирая вязкость по [15] в предположении, что длительность импульса разрушения больше времени релаксации и что скорость деформирования обратно пропорциональна длительности импульса.

Остановимся на свойстве, замеченном для различных типов тел. Изменение прочности на разрыв в широком диапазоне изменения скорости деформирования качественно показано на фиг. 4. Сплошной участок соответствует статическим испытаниям, штрихпунктирный — квазистатическим, штриховой — динамическим взрывным способам нагружения. Динамический эффект проявляется, начиная со скорости деформирования  $\dot{\epsilon} \approx 10^3 \text{ с}^{-1}$ . Такой общий характер изменения прочности со скоростью деформирования отмечался в [16] для минералов (доломит, известняк, гранит, базальт), в [17] для некоторых металлов, в [13] для металлов: медь, алюминий, сталь.

Анализ результатов позволяет проследить корреляцию коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  в (1) с механическими и газодинамическими характеристиками исследованных материалов. Значения коэффициентов  $a_0$  близки к значениям статической прочности на разрыв. Значения коэффициента  $a_1$  коррелируют с величиной коэффициента  $\beta$  в линейном соотношении  $D = c_0 + \beta u$  между волновой  $D$  и массовой  $u$  скоростями для ударной волны. На фиг. 5



Ф и г. 4



Ф и г. 5

значения коэффициента  $a_1$  сопоставлены с соответствующими значениями коэффициентов  $\beta$ . Экспериментальные точки описаны линейной зависимостью  $a_1 = 1 - 0,17 \beta$ , изображенной на фиг. 5 сплошной линией.

Поступила 10 IX 1980

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кольский Х. Разрушение под действием волн напряжений.— В кн.: Атомный механизм разрушения. М.: Металлургия, 1963.
2. Дремин А. Н., Канель Г. И., Колдунов С. А. Исследование откола в воде, этиловом спирте и плексигласе.— В кн.: Горение и взрыв (материалы 3-го Всесоюз. симпозиума по горению и взрыву). М.: Наука, 1972.
3. Erlich D. C., Wooten D. C., Crewdson R. C. Dynamic tensile failure of glycerol.— J. Appl. Phys., 1971, vol. 42, N 13.
4. Carlson G. A., Levin H. S. Dynamic tensile strength of glycerol.— J. Appl. Phys., 1975, vol. 46, N 4.
5. Carlson G. A. Dynamic tensile strength of mercury.— J. Appl. Phys., 1975, vol. 46, N 9.
6. Рыбаков А. П. Исследование откольных явлений в конденсированных телах при нагружении косыми ударными волнами.— В сб.: Детонация. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах. Черноголовка, 1978.
7. Бородулин С. А., Бричиков А. И. и др. Рентгенографическое исследование процесса разлета легкоплавких металлов при выходе ударной волны на их свободную поверхность.— ФТТ, 1976, т. 18, вып. 9.
8. Breed R. R., Mader C. L., Venable D. Technique for determination of dynamic — tensile — strength characteristics.— J. Appl. Phys., 1967, vol. 38, N 8.
9. Витман Ф. Ф., Иванов М. И., Иоффе Б. С. Сопротивление разрушению пластичных металлов при импульсном нагружении.— Физика металлов и металловедение, 1964, т. 18, вып. 5.
10. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей. М.— Л.: Гостехиздат, 1951.
11. Hayward Alan T. J. Negative pressures in liquids: can it be harnessed serve man? — Amer. Scientist, 1971, vol. 59, p. 434. Рус. пер. Усп. физ. наук, 1972, т. 108, вып. 2.
12. Справочник по пластическим массам. Т. 1/Под ред. М. И. Гарбара, М. С. Акутина, Н. М. Егорова. М.: Химия, 1967.
13. Рыбаков А. П., Музыченко В. П. Механика откольного разрушения при ударном нагружении.— В кн.: Доклады на 3-м Всесоюз. симпозиуме по импульсным давлениям. М., 1979.
14. Фадеев Ю. И. Временные критерии разрушения в динамике твердого тела.— В сб.: Динамические задачи механики сплошных сред. Вып. 32. Новосибирск: изд. Ин-та гидродинамики, 1977.
15. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. М.: Гостехиздат, 1953.
16. Grady D. E., Hollenbarch R. E. Rate-controlling processes in the brittle failure of rock. Sandia Lab., Albuquerque, N. M., SAND-76-0659, 1977. Ссылка в работе: Никифоровский В. Н., Лифшиц Л. Д., Сизов И. А. Механические свойства горных пород. Деформация и разрушение.— В сб.: Механика деформируемого твердого тела. М.: ВИНТИ, 1978, т. 11, с. 123.
17. Златин Н. А., Пугачев Г. С. и др. Временная зависимость прочности металлов при долговечностях микросекундного диапазона.— ФТТ, 1975, т. 17, вып. 9.