

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

05

Журнал технической физики, т. 65, в. 7, 1995

© 1995 г.

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ
ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА ПРИ УДАРЕ

В.В.Костин, Б.И.Кунцжеев, А.С.Сучков, А.И.Темроков

Институт высоких температур РАН, Москва, Россия
Кабардино-Балкарский государственный университет,
360004, Нальчик, Россия

(Поступило в Редакцию 10 ноября 1993 г.

В окончательной редакции 4 июля 1994 г.)

Ударные взаимодействия за последние годы вышли на передний план изучения физики высоких плотностей энергии. Это связано помимо фундаментального интереса прежде всего с практическими задачами защиты атомных электростанций, защиты Земли от соударения с крупными астероидами и т.д.

В данной работе экспериментально и теоретически изучалось взаимодействие ударника из полиэтилена (размер $8 \times 8 \times 10$ мм) с массивной мишенью из ПММА (полиметилметакрилата) толщиной 38 мм и поперечными размерами 100×100 мм. Диапазон скоростей удара 0.8–2.5 км/с. Поскольку данная задача не описывается известными для металлических мишеней моделями, то полученные результаты сопоставлялись с численным теоретическим расчетом на ЭВМ двумерной задачи. Экспериментальная часть выполнялась на установке типа "Рельсотрон". Фоторегистрация проводилась на СФР при скорости вращения 15 тыс об./мин, что соответствовало экспозиции одного кадра 8.3 мкс. Ловушка, окружающая мишень, позволяла анализировать осколки. С ее помощью при скорости удара 2 км/с было установлено наличие крупного центрального осколка (его размеры в 2–3 раза больше размеров ударника) и большого количества более мелких, образующихся на периферии кратера. Объем кратера 10 см^3 , что в 15 раз больше объема ударника.

Таким образом, можно утверждать, что каверна образуется в результате хрупкого разрушения и лицевого откола и, следовательно, методы оценки размеров кратера, развитые для пластических материалов [1], хорошо известные и пригодные для большинства металлов, здесь не работают. Аналогичные результаты для кратеров в горных породах получены в [2,3] и для микрократеров в стекле в [4].

При скорости удара 2 км/с диаметр зоны разрушения составляет 40–45, а глубина 10 мм, при этом характерные размеры центрального осколка $D = 27$, $h = 9$ мм. Остальные осколки также довольно крупные с характерными размерами 0.5–1.0 см.

Во всех опытах с помощью ловушки был уловлен ударник в виде расплющенного тела толщиной 2–3 мм.

На рис. 1 в качестве иллюстрации приведены снимки СФР, показывающие процесс соударения с мишенью ударника при скорости 2 км/с.

В целях более детального рассмотрения исследуемых явлений была осуществлена серия расчетов с помощью метода численного моделирования в двумерной постановке в координатах Лагранжа по схеме “крест”, подробно описанная в работах [5,6]. При этом используемый алгоритм позволяет учитывать теплофизические процессы, упруго-пластическое течение материала, его упрочнение, разрушение под действием растягивающих напряжений.

Ударник задавался в виде цилиндра диаметром 8 мм и длиной 10 мм. Уравнение состояния задавалось в виде $P = P(\sigma)$, где $\sigma = \rho/\rho_0$ — относительная плотность. При этом функция $P = P(\sigma)$ строилась на основе ударной адиабаты Гюгонио в виде

$$D = a_0 + a_1 u, \quad (1)$$

где D — скорость фронта, u — массовая скорость.

Использовались уравнения сохранения на разрыве

$$\rho_0 D = \rho(D - u), \quad (2)$$

$$P = \rho_0 \cdot D \cdot u. \quad (3)$$

Совместное решение (1)–(3) дает

$$P(\sigma) = \frac{\rho_0 a^2 (1 - \frac{1}{\sigma})}{[1 - a_1 (1 - \frac{1}{\sigma})]^2}. \quad (4)$$

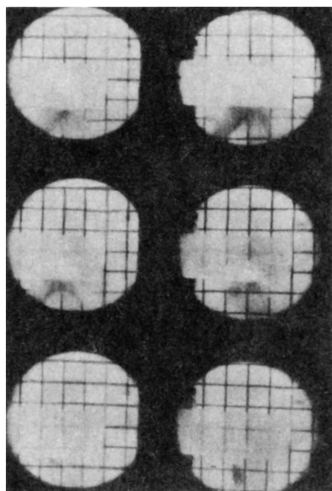


Рис. 1.

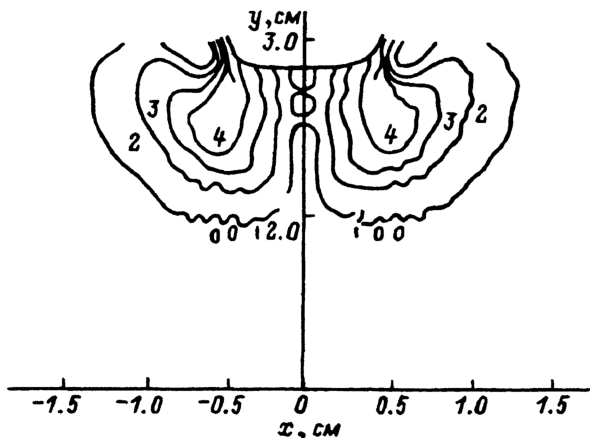


Рис. 2.

Кроме того, в расчеты вводились следующие параметры: модуль Юнга E , коэффициент Пуассона μ , предел текучести σ_T , разрушающее напряжение при растяжении σ_p , использованные значения которых приводятся в таблице.

Прочностные и теплофизические характеристики материалов мишени и ударника

Материалы	$a_0, \frac{\text{км}}{\text{с}}$	a_1	$E, \text{кб}$	μ	$\sigma_T, \text{кб}$	$\sigma_p, \text{кб}$
ПММА	2.59	1.51	30	0.35	0.47	0.8
ПЭ	2.9	1.49	25	-	0.14	10

Окончание численного эксперимента определялось из следующих соображений: 1) исследуемые явления к этому времени должны в основном завершиться, в частности, должен закончиться процесс отделения центрального осколка (об этом свидетельствует выход изолиний удельного объема трещин на лицевую поверхность мишени); 2) начинается сильное искажение расчетной области в силу возникновения больших деформаций, что приводит к очень сильному замедлению численного эксперимента, так что дальнейшее его продолжение становится нецелесообразным.

В реальном численном эксперименте второе условие достигалось значительно позднее, чем первое, поэтому полученные результаты в этом смысле можно считать вполне достоверными.

Получены поле напряжений, представленных в виде изолиний для некоторых выбранных моментов времени для всех компонент тензора напряжений, графики зависимости скорости контактной поверхности от времени и, исходя из критерия $\sigma_i \geq \sigma_p$ и модели накопления деформации, поле разрушения [6].

На рис. 2 в качестве примера приведено распределение касательных напряжений в момент $t = 2$ мс после соударения (1 — 0.2, 2 — 1.0, 3 — 1.8, 4 — 2.6 кб).

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1) Скорость контактной поверхности почти сразу устанавливается около 1 км/с (что характерно для плоского удара двух тел со сходными адиабатами), затем падает до нуля через 5 мкс и далее принимает отрицательные значения.

2) Напряжение σ_z на контактной поверхности скачком достигает 34 кб и начинает падать (длительность этого этапа взаимодействия определяется отражением ударной волны от свободных поверхностей, ввиду малых размеров ударника она составляет ≈ 1.5 мкс), далее устанавливается напряжение 10 кб, что соответствует, по-видимому, режиму гидродинамического течения и через 6 мкс падает до нуля.

3) Скорость ударной волны, согласно полю напряжений сжатия, равна 4.0–0.2 км/с, что согласуется с фотографиями СФР. Видно, что волна сжатия очень слабо распространяется в радиальном направлении, что связано, по-видимому, с интерференцией волн сжатия и разгрузки от свободной лицевой поверхности мишени.

4) Через 2 мкс появляются растягивающие напряжения σ_x на глубине 8 мм, достигая значения 0.5 кб, эта зона растяжения далее движется вниз и увеличивается в объеме, достигая значения 1.2 кб.

5) Разрушение мишени начинается в момент достижения одной из компонент тензора напряжений предела прочности ПММА на растяжение. В данном случае из расчетов следует, что материал начинает разрушаться в области концентрации растягивающих напряжений σ_x в момент времени, соответствующий 4 мкс. При $t = 6$ мкс проявляется действие растягивающих радиальных напряжений σ_r и контур центрального осколка замыкается, процесс разрушения мишени завершается полным отделением центрального осколка.

В целом теоретический расчет совпадает с экспериментально полученной картиной разрушения и дает дополнительную информацию о точном времени начала разрушения (4 мкс) и компонентах тензора деформации, ответственных за нее.

Список литературы

- [1] *Беляков Л.В. и др.* // ЖТФ. 1963. Т. 33. Вып. 8. С. 990.
- [2] *Титов В.И. и др.* // ДАН СССР. 1970. Т. 191. № 2. С. 298.
- [3] *Никифоровский В.С., Шемякин Е.И.* Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск: Наука, 1979.
- [4] *Veddez J.E., Mandeville J.C.* // J. Geophys. Res. 1974. Vol. 79. N 23. P. 3247.
- [5] *Бушман А.В., Канель Г.И., Ни А.Л. и др.* // Препринт ИОФХ. Черноголовка, 1983.
- [6] *Абаэтов М.М., Вовченко В.И., Кильпио А.В. и др.* // Препринт ИВТАН. М., 1990.

05;06
© 1995 г.

Журнал технической физики, т. 65, в. 7, 1995

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ НА ФОРМУ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК Vi-СОДЕРЖАЩИХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

В.Г.Костишин, Л.М.Летюк

Московский институт стали и сплавов,
117936, Москва, Россия
(Поступило в Редакцию 1 ноября 1994 г.)

Эпитаксиальные монокристаллические пленки Vi-содержащих ферритов-гранатов находят широкое применение в качестве активных сред магнитооптических устройств записи и обработки информации [1] и, сочетая в себе целый комплекс важных магнитных и диэлектрических свойств, являются уникальным объектом для физических исследований.

Обработка в униполярном коронном разряде может изменять как свойства феррит-гранатовых пленок [2] (в частности, энергетическое состояние дефектов [3]), так и параметры приборов на их основе [4]. Целью данной работы было исследование влияния обработки в отрицательном коронном разряде на форму петли гистерезиса эпитаксиальных Vi-содержащих феррит-гранатовых пленок.