

05.1;12

©1994

МИКРОКУМУЛЯТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЛАБЫХ ВОЛН СЖАТИЯ

Е.Л.Зильбербранд, Г.С.Пугачев, А.Б.Синани

Известно, что при воздействии интенсивных ударных нагрузок в осесимметричных полостях (характерные размеры десятки и сотни миллиметров) твердых тел концентрируются (кумулируются) давления, значительно превышающие исходные [1,2]. Однако практически нет экспериментальных работ, четко демонстрирующих возможность протекания подобных кумулятивных процессов на микрополостях (характерные размеры десятки и сотни микрон) твердых тел, за исключением [3,4]. Причем в этих исследованиях воздействие осуществлялось путем посылки в твердые тела интенсивных ударных волн амплитудой в несколько сотен килобар. Возможность возникновения кумулятивных эффектов при подходе малоинтенсивных волн сжатия к естественным и искусственным микрополостям, расположенным на поверхности твердых тел, до настоящего времени обсуждалась лишь в качестве гипотезы, например в [5,6].

В настоящем сообщении излагаются первые результаты опытов по непосредственному обнаружению микромодуляции в твердых телах при возбуждении в них волн сжатия с амплитудой до 10 кбар.

На поверхность алюминиевого образца (пластины) толщиной 25 мм иглой из закаленной стали наносили укол. Глубина укола примерно 0.5 мм, а угол при вершине конуса 15 – 20°. С противоположной стороны образца по направлению к уколу вдоль оси его симметрии посылалась плоская волна сжатия (рис. 1). Генерация волны сжатия осуществлялась ударом по образцу плоским дном (толщина 2 мм) металлического цилиндрического стакана [7] диаметром 15 мм, скорость ударника ~ 1000 м/с. Опыты проводили в атмосферных условиях.

Лазерным дифференциальным интерферометром [8] измеряли скорость перемещения свободной поверхности образца при выходе на нее волны сжатия. Давление в волне рассчитывали с помощью известного [9] соотношения $P = \rho_0 cv/2$, где P — давление в волне, ρ_0 — начальная плот-

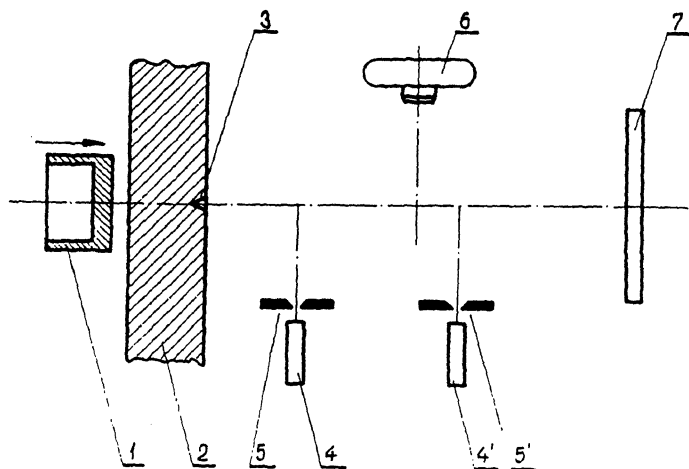


Рис. 1. Схема опыта по наблюдению микрокумулятивных эффектов на пластине с уколом.

1 — ударник; 2 — пластина; 3 — выемка от укола; 4, 4' — фотоэлектронные умножители; 5, 5' — диафрагмы; 6 — фотоаппарат; 7 — экран из органического стекла.

ность вещества, c — скорость звука в твердом теле, v — скорость перемещения свободной поверхности.

Расчет показывает, что нормальная составляющая давления в сечении образца, отстоящем на 0.5 мм от свободной поверхности, равна для алюминия ~ 4 и для меди ~ 10 кбар. Эти величины составляют лишь малую долю давлений, используемых обычно [1,2] для получения металлических кумулятивных струй.

Исследование и регистрацию микрокумуляции, возникающей в месте укола, осуществляли различными способами. Первый способ состоял в анализе следов, которые оставлял микрокумулятивный выброс на прозрачном экране из органического стекла, расположенного на расстоянии 10 мм от поверхности образца с уколом. Для примера здесь приведена фотография увеличенной в 80 раз области рассеяния на экране алюминиевых частиц (рис. 2). Отчетливо просматривается небольшой кратер и мелкие частицы алюминия, осевшие на площади ~ 1 мм². Малая величина зоны рассеяния частиц металла свидетельствует о сохранении высокой степени компактности кумулятивного выброса на значительном (на 1-2 порядка больше диаметра укола) расстоянии от источника его образования.

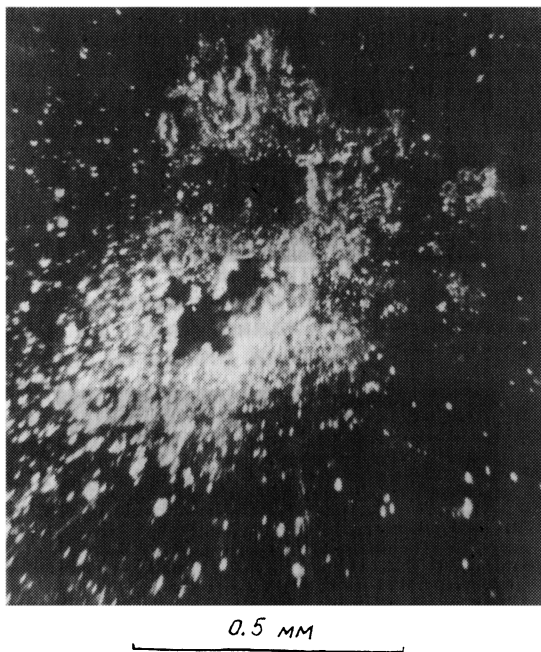
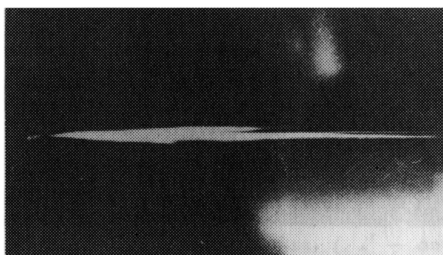
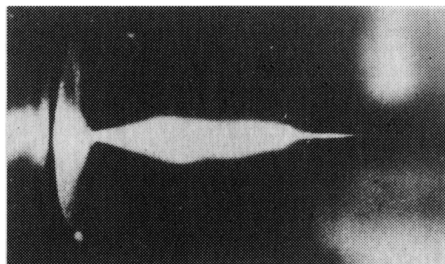


Рис. 2. След алюминиевого микрокумулятивного выброса на экране из органического стекла.

Анализ выброса материала был дополнен наблюдением за свечением кумулятивного выброса в видимой области спектра. Такое свечение в соответствии с [10,11] должно сопровождать движение металлических кумулятивных струй. Регистрацию свечения осуществляли фотоэлектронным умножителем ФЭУ-84, сигнал от которого записывался осциллографом типа С8-12. Момент прихода волны сжатия в зону укола рассчитывали, исходя из перемещения свободной поверхности образца, зафиксированной лазерным интерферометром.

В этих опытах обнаружено, что одновременно с достижением волной сжатия вершины укола возникло интенсивное свечение. Передний фронт светового импульса был достаточно крутым (около 1 мкс), а его продолжительность лежала в пределах от 5 до 20 мкс. Кроме того, фотоаппаратом с открытым затвором (рис. 1) без дополнительной подсветки производили съемку светящегося кумулятивного выброса



50 мм

Рис. 3. Светящиеся микрокумулятивные выбросы из алюминиевой (вверху) и медной (внизу) пластин, поверхность пластин — слева.

на фотопленку типа РФ-3. На рис. 3 видны кумулятивные выбросы из уколов на алюминиевой и медной пластинах. Визуальные наблюдения за истечением из уколов показали, что цвет светящейся струи из алюминиевого образца лежит в более коротковолновой части видимого спектра, чем для медной струи.

Было также обнаружено, что получаемые микрокумулятивные металлические выбросы содержат электрически заряженные частицы. В этом случае изолированный экран из медной фольги располагали вблизи точки (1–2 мм) укола и подключали ко входу осциллографа. Практически одновременно с возникновением световой вспышки на осциллографе регистрировался сигнал, характеризующий появление на медном экране заряженных частиц.

Наконец, была измерена скорость вылета светящихся выбросов. При помощи двух датчиков (фотоэлектронных умножителей), расположенных вдоль траектории полета

выброса, на базе 30 мм (рис. 1) измеряли время между появлением сигналов, возникающих от прохождения головного участка светящейся струи. Перед датчиками были установлены щелевые диафрагмы с апертурой около 1° , что позволило свести погрешность измерения скорости к 10%. Скорость вылета как алюминиевой, так и медной светящихся струй оказалась лежащей в интервале 4–5 км/с.

Описанный эффект вступает в формальное противоречие с известными представлениями об условиях образования кумулятивных струй, например с [12]. Это противоречие можно объяснить тем, что существующие представления основаны на наблюдениях стационарных гидродинамических течений. В нашем же случае процесс является явно нестационарным.

Обнаруженное явление, по-видимому, может быть положено в основу объяснения некоторых физических эффектов, не имеющих до сих пор убедительной интерпретации (например, аномально большого массопереноса в ударных волнах, появления электромагнитного излучения при соударении твердых тел и некоторых других).

Список литературы

- [1] *Лаврентьев М.А.* // УМН. 1957. Т. 12. В. 5(76). С. 41–56.
- [2] *Шаль Р.* Физика быстропротекающих процессов. М.: Мир, 1971. Т. 2. 352 с.
- [3] *Elias P., Chapron P.* Shock waves in condensed matter / Ed. by Y.M.Gupta. N.Y., London, Plenum Press, 1986. P. 645–650.
- [4] *Cheret R., Chapron P., Elias P., Martineau J.* Shock waves in condensed matter / Ed. by Y.M.Gupta. N.Y., London, Plenum Press. 1986. P. 651–654.
- [5] *Райнзарт Дж.С., Пирсон Дж.* Взрывная обработка металлов. М.: Мир, 1966. 391 с.
- [6] *Asay J.R., Barker L.M.* // J. Appl. Phys. 1974. V. 45. N 6. P. 2540–2546.
- [7] *Златин Н.А., Мочалов С.М., Пугачев Г.С., Брагов А.М.* // ЖТФ. 1975. Т. 45. В. 3. С. 681–682.
- [8] *Златин Н.А., Мочалов С.М., Пугачев Г.С., Брагов А.М.* // ЖТФ. 1973. Т. 43. В. 9. С. 1961–1964.
- [9] *Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 686 с.
- [10] *Koski W.S., Lusy F.A., Sreffler R.G., Willig F.J.* // J. Appl. Phys. 1952. V. 23. N 12. P. 1300–1305.
- [11] *Новиков Н.П.* // ПМТФ. 1963. В. 1. С. 3–13.
- [12] *Кинеловский С.А., Тришин Ю.А.* // Физика горения и взрыва. 1980. В. 5. С. 26–40.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
21 января 1994 г.