

ДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВА ЛИСТОВОГО ЗАРЯДА ВВ
НА АЛЮМИНИЕВУЮ ПЛАСТИНУ

Е. В. Ментешов, В. П. Ратников, А. П. Рыбаков,
А. Н. Ткаченко, В. П. Шавков

(Москва)

Известно, что при выходе ударной волны на свободную поверхность твердого тела происходит образование откола. При этом генерирование ударных волн в твердом теле обычно происходит с помощью таких способов нагружения, как удар пластиной и подрыв блока взрывчатого вещества (ВВ) в контакте с твердым телом. Как правило, при нагружении с помощью ВВ детонационная волна падает «нормально» к контактной границе ВВ — твердое тело. Однако возможен и такой способ нагружения, как подрыв листового ВВ в контакте с испытуемым образцом [1], когда нагрузка некоторой формы бежит со скоростью детонации (D) по нагружаемой поверхности образца (рис. 1). Контактная граница поворачивается на некоторый угол γ , а ударная волна, идущая в материал образца, поворачивается на угол α . Величину α можно оценить, считая ударную волну слабой ($D_{у.в} \approx c_0$), следующим образом:

$$\sin \alpha = \frac{c_0}{D}, \quad (1)$$

где c_0 — скорость звука в материале образца.

Массовая скорость в волне направлена по нормали к ее фронту, а угол отражения волны разрежения будет примерно равен углу падения ударной волны, если последняя довольно слабая. В таком случае взаимодействие падающей ударной волны и отраженной волны разрежения приводит к тому, что скорость свободной поверхности направлена по нормали к начальному положению свободной поверхности. Тогда скорость свободной поверхности (W) связана с массовой скоростью (u) вещества в ударной волне следующим образом:

$$W = 2u \cos \alpha. \quad (2)$$

Суперпозиция падающей и отраженной волн приводит к

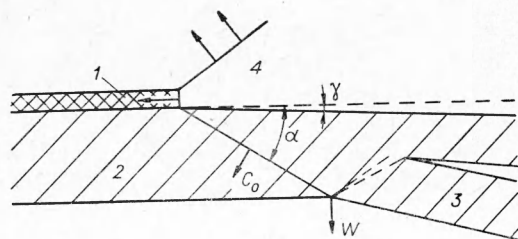


Рис. 1. Схема опыта.

1 — листовый заряд ВВ; 2 — алюминиевая пластина;
3 — откол; 4 — продукты взрыва.

образованию откола. Величину напряжения разреза оценивают по разности между скоростью свободной поверхности при отсутствии прочности материала образца и скоростью откола. Первая из них определяется как скорость свободной поверхности в первый момент времени при выходе на нее ударной волны. Экспериментально ее определяют либо с помощью тонкой отлетающей пластинки (искусственного откола), либо с помощью емкостного датчика [2].

В данной работе экспериментально было исследовано воздействие взрыва тонких листовых зарядов ВВ на алюминиевые пластины. В качестве ВВ был использован пластический состав с плотностью $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$ и $D = 7,5 \text{ км/сек}$. В опытах были использованы листы толщиной 0,53; 0,85; 1,56; 2,2 и 5,5 мм. Максимальное отклонение толщины листа ВВ от опыта к опыту составляло не более $\pm 0,02 \text{ мм}$. В качестве испытываемого материала в работе использован алюминиевый сплав марки АМЦАМ, термически необработанный. Толщина алюминиевых пластин изменялась от 2 до 15 мм. С обезжиренным участком ($\sim 20 \text{ см}^2$) поверхности испытываемой пластины была в контакте тонкая — 0,1 мм толщиной — пластина из алюминия марки АВ000 — искусственный откол.

В опытах измерялись скорости искусственного и естественного откола, а также толщина естественного откола (рис. 2, 3). Измерение скорости искусственного откола (W_1) производилось с помощью фотохронографа при съемке на щель в проходящем свете. Подсветкой служил электрический взрыв фольги. Для получения рас-

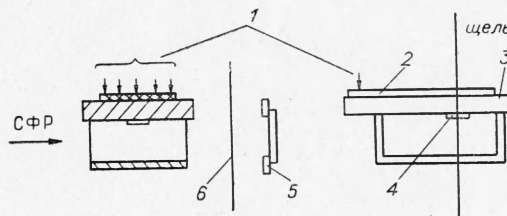


Рис. 2. Схема экспериментальной сборки.
1 — инициирующее устройство; 2 — листовый заряд ВВ; 3 — испытываемая алюминиевая пластина; 4 — искусственный откол; 5 — устройство для подсветки; 6 — рассеивающий экран.

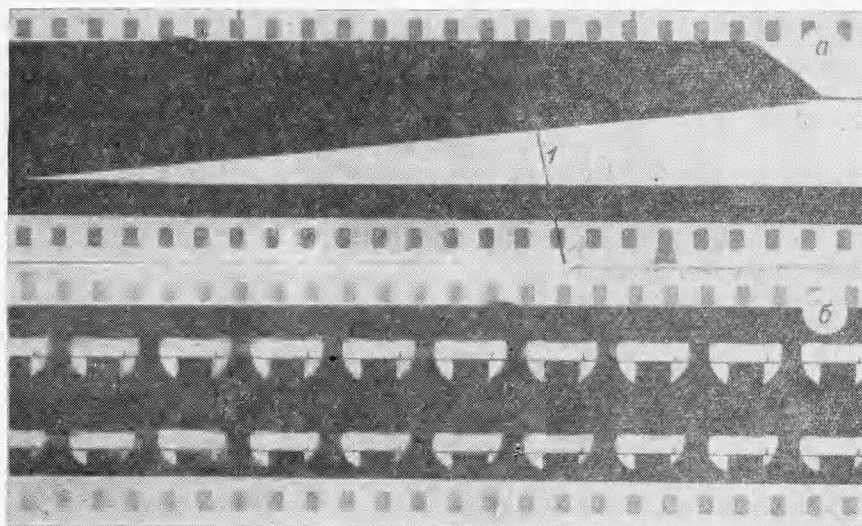


Рис. 3. Характерные хронограммы, полученные в опытах. Развертка справа налево.

а) при съемке на щель, скорость развертки 1,5 мм/мксек; б) при покадровой съемке, частота съемки 250000 кадр/сек. 1 — траектория движения искусственного откола.

Таблица 1

Толщина листа заряда ВВ, мм	Толщина алюминиевой пластины, мм	Толщина естественного откола, мм		Скорость естественного откола, км/сек	Скорость искусственного откола, км/сек
0,53	2	0,5	—	0,34	0,55
	3	0,7	0,5	0,25	0,43
	4	0,7	0,5	0,28	0,41
	8	1,1	—	0,08	0,33
	15	—	—	0,08	0,17
0,85	2	0,8	—	0,70	0,76
	3	0,7	0,6	0,51	0,60
	4	0,9	0,6	—	0,63
	8	1,0	0,9	0,30	0,48
	15	—	—	0,16	0,42
1,56	2	—	—	—	0,91
	3	1,2	—	0,69	0,82
	4	1,2	—	—	0,78
	8	1,4	1,0	—	0,55
	15	2,3	1,2	0,35	0,46
2,2	2	—	—	—	1,32
	3	—	—	0,76	0,95
	4	1,0	—	—	0,81
	8	—	—	—	0,75
	15	2,4	1,5	—	0,58
5,5	3	—	—	—	1,56
	4	—	—	—	1,20
	15	—	—	—	0,75

сеянного света применялся матовый экран, который располагался между устройством для подсветки и экспериментальной сборкой. Скорость естественного откола (W_2) измерялась в тех же самых опытах при покадровой съемке с помощью другого фотохронографа. Частота кадров съемки составляла 250000 кадр/сек (табл. 1).

В каждом эксперименте производилось улавливание образующейся откольной тарелочки и измерение ее толщины. Как видно из таблицы, для конкретного листового заряда ВВ толщина откола возрастает с увеличением толщины преграды, т. е. при распространении ударной волны происходит ее затухание и растягивание спадающего участка импульса давления. Оценить характер затухания ударной волны можно по графику рис. 4, где представлено изменение массовой скорости в ударной волне от безразмерного расстояния, пройденного ударной волной. Значения массовых скоростей находились с помощью формулы (2) по изме-

ренным скоростям искусственного откола. В качестве безразмерного расстояния взято отношение пути x , пройденного ударной волной, к толщине листа заряда ВВ — Δ . Величина x и толщина испытуемой пластины h связаны следующим соотношением:

$$x = h / \cos \alpha. \quad (3)$$

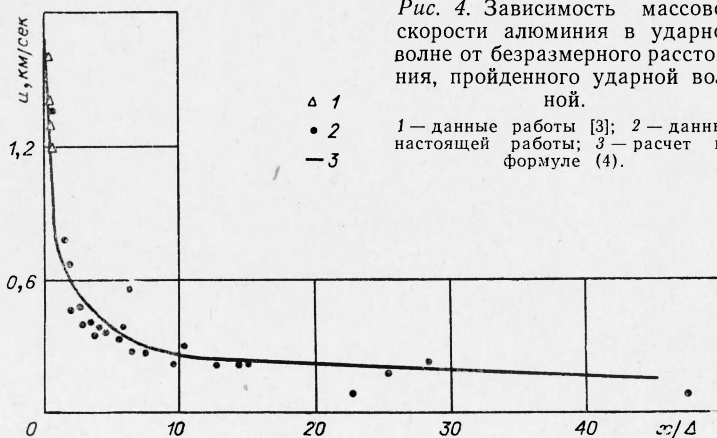


Рис. 4. Зависимость массовой скорости алюминия в ударной волне от безразмерного расстояния, пройденного ударной волной.

1 — данные работы [3]; 2 — данные настоящей работы; 3 — расчет по формуле (4).

В таких координатах экспериментальные точки описываются формулой:

$$u = 1,68 \left(1 + 20 \frac{x}{\Delta} \right)^{-0,27} \text{ км/сек} \quad (4)$$

при $1 \leq \frac{x}{\Delta} \leq 40$.

На этом же графике приведены заимствованные из работы [3] результаты, которые описываются в работе [4] в диапазоне значений $0 < \frac{x}{\Delta} \leq 1$ аналогичной формулой. Однако вместо коэффициентов 20 и 0,27 предлагаются соответственно 4,2 и 0,236.

Обычно [2] величину разрушающего напряжения при взрывном нагружении металлов определяют с помощью формулы

$$p_{кр} = \rho_0 c_0 \Delta u. \quad (5)$$

В нашем случае значение Δu находится следующим образом:

$$\Delta u = \frac{1}{2 \cos \alpha} (W_1 - W_2). \quad (6)$$

Используя приведенные в табл. 1 значения скоростей, получим следующее значение величины разрушающего напряжения:

$$p_{кр} = 160 \text{ кг/мм}^2,$$

среднеквадратичная ошибка составляет $\pm 12\%$.

В табл. 2 приведены полученные разными авторами значения критического разрушающего напряжения. Большая величина $p_{кр}$, полученная в настоящей работе, по-видимому, является следствием увеличения

Таблица 2

Материал и термообработка	Условия проведения опыта	$p_{кр}, \text{кг/мм}^2$	Источник
Алюминий, отжиг	Подрыв заряда весом 12—17 г, диаметром 20 мм на поверхности образца высотой 30—60 мм	145	[6]
Алюминиевый сплав 24 S-T4	Подрыв заряда на поверхности образца (размеры заряда и образцов не указаны)	98	[1]
Алюминиевый сплав Д16, отжиг	Подрыв заряда высотой 40 мм, диаметром 120 мм на поверхности образцов 20—40 мм	110	[5]
Алюминиевый сплав АМЦАМ в состоянии поставки	Подрыв листовых зарядов ВВ толщиной 0,5—5 мм на поверхности образцов толщиной 2—15 мм	160	Данные настоящей работы

скорости деформирования (ϵ) при таком способе нагружения. В работе [2] приводится значение $\epsilon = 10^5 \text{ сек}^{-1}$, характерное при подрыве зарядов ВВ высотой 40—50 мм на поверхности образцов толщиной 10—40 мм. В случае подрыва листовых зарядов ВВ толщиной 0,5—5 мм скорость деформирования увеличится на один-два порядка: $\epsilon = (10^6 \text{--} 10^7) \text{ сек}^{-1}$, что должно привести к уменьшению времени действия разрывающего

напряжения и к увеличению разрушающего напряжения [7, 8]. Зависимость разрывающего напряжения от времени действия была выявлена рядом исследователей в довольно широком диапазоне скорости деформирования $(10^{-7} \div 10^3) \text{сек}^{-1}$. В работе [2] дан качественный характер такой зависимости при значительно более высоких скоростях деформирования $\epsilon = (10^5 \div 10^7) \text{сек}^{-1}$, реализуемых при подрыве зарядов ВВ высотой $\sim 50 \text{ мм}$ на поверхности испытуемых образцов или при ударе пластин по образцам. Результаты данной работы также подтверждают качественный характер подобной зависимости разрушающего напряжения от времени разрушения при довольно высоких скоростях деформирования $\epsilon = (10^6 \div 10^7) \text{сек}^{-1}$.

*Поступила в редакцию
30/VII 1966*

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Райехарт, Дж. Пирсон. Поведение металлов при импульсивных нагрузках. М., ИЛ, 1958.
2. Л. В. Альтшулер, С. А. Новиков, И. И. Дивнов. Докл. АН СССР, 1966, 166, 67.
3. J. M. Wolsh, Russel H. Christian. Phys. Rev., 1955, 97, 1544.
4. Л. П. Орленко. Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках. М., Машиностроение, 1964.
5. С. А. Новиков, М. И. Дивнов, А. Г. Иванов. ФММ, 1966, 21, 608.
6. Ф. Ф., Витман, И. И. Иванов, Б. С. Иоффе. ФММ, 1964, 18, 717.
7. А. И. Слуцкер. Природа, 1965, 8, 36.
8. С. Н. Журков. Вест. АН СССР, 1957, 11, 78.