

Рис. 2. Критические углы для пористых титана (а) и алюминия (б).

а) $\rho_0 = 1,65$ г/см³; б) $\rho_0 = 1,35$ г/см³. Точки — расчеты с учетом прочности; × — данные из [4].

дальнейшем уменьшении давления $\alpha_{кр}$ резко возрастает. При $p \rightarrow 0$ (так же как и для компактных металлов [2]), $\alpha_{кр}$ должно стремиться к $\pi/2$.

Сделаем оценку разогрева вещества за фронтом ударной волны. Приращение внутренней энергии на единицу массы вещества

$$\Delta \epsilon = p(v_0 - v)/2.$$

Нетрудно показать, что упругая составляющая внутренней энергии мала по сравнению с термической, поэтому можно написать

$$c_v \Delta T \approx \Delta \epsilon,$$

где c_v — удельная теплоемкость твердого вещества; ΔT — прирост температуры.

Взяв давления, при которых критический угол минимален (1 и 0,4 ГПа для титана и алюминия соответственно), получим $\Delta T \approx 370$ К для титана и $\Delta T = 85$ К для алюминия, что подтверждает сделанное ранее предположение о малом разогреве вещества.

Поступила в редакцию 18/V 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Курант, К. Фридрихс. Сверхзвуковое течение и ударные волны. М.: ИЛ, 1950.
2. Л. В. Альтшулер, С. Б. Корнер, А. А. Баканова и др. ЖЭТФ, 1961, 41, 1382.
3. Н. А. Костюков. Автореф. канд. дис. Новосибирск, 1978.
4. Н. А. Костюков, А. М. Ставер. III Симпозиум по обработке металлов взрывом. Т. 2. Марианске Лазне, 1976.
5. Н. А. Костюков, А. М. Ставер. ФГВ, 1977, 13, 1.
6. Н. А. Костюков. ПМТФ, 1977, 3.
7. Г. Е. Кузьмин, А. М. Ставер. ФГВ, 1973, 9, 6.
8. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович и др. Физика взрыва. М.: Наука, 1975.
9. С. З. Дунин, В. В. Сурков. ПМТФ, 1979, 5.
10. Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1972.

ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ УДАРОМ ОТ МАССЫ УДАРЯЮЩЕЙ ПЛАСТИНКИ

М. Я. Васильев
(Черноголовка)

При определении критической энергии инициирования детонации или горения ВВ и порохов необходимо знать влияние массы ударяющей пластинки. Цель данной работы — определение минимальной (критической) энергии возбуждения детонации октогена и выбор оптимальной массы ударяющей пластинки. Предварительные данные для октогена опубликованы в работе [1].

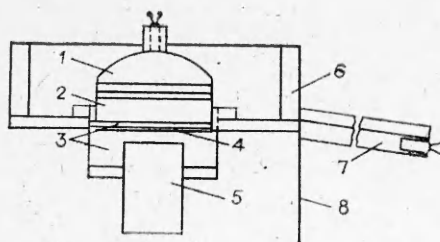


Рис. 1. Схема опыта.

1 — метаящий линзовый заряд; 2 — преграда из бензойной кислоты, увеличением массы которой ослабляется действие метаящего заряда; 3 — зазоры; 4 — инициирующая пластинка; 5 — исследуемый образец; 6 — корпус сборки; 7 — заряд для подвески экрана; 8 — экран из кальки.

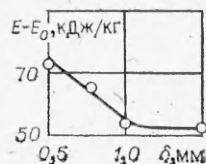


Рис. 2. Зависимость минимальной энергии инициирования от массы ударяющей пластинки.

Процесс взрывчатого разложения бризантных ВВ и порохов рассматривается как тепловой взрыв, которому предшествовало адиабатическое сжатие образца. Критическая энергия инициирования определяется как минимальная энергия, достаточная для возбуждения теплового взрыва, переходящего в детонацию. Возбуждение взрыва достигалось ударом по поверхности открытого, свободного от оболочки образца плоской стальной пластинкой с заданной скоростью и массой. Метание инициирующей пластинки осуществлялось продуктами взрыва линзового заряда. В качестве основной характеристики инициирования принята минимальная энергия возбуждения взрыва ударом [2]. Для ее определения необходимо знать соответствующую оптимальную массу (толщину) ударяющей пластинки.

Взрывчатое разложение октогена с плотностью $1,80 \text{ г/см}^3$ (диаметр образца 50, высота 75 мм) возбуждалось ударом стальными пластинками толщиной 0,50; 0,775; 0,997 и 1,50 мм. Схема опыта и устройства метаящего заряда приведена на рис. 1. С помощью лупы времени определялось наличие или отсутствие взрывчатого разложения образца при ударе. У найденного таким путем метаящего заряда с минимальной мощностью инициирования определялись скорость пластинки, инициирующей взрывчатое разложение W , и скорость распространения по образцу ударной волны D . Параметры фронта ударной волны ($p, v, u, E - E_0$) находились с помощью уравнений [2] $p = a(w - u)$, $a = \rho_{00}c = 7,85 \cdot 5100 = 0,4 \times 10^7 \text{ г/(см}^2 \cdot \text{с)}$, $u = aw/(a + \rho_0 D)$, $E - E_0 = u^2/2$, $v = (D - u)/\rho_0 D$, $E = u^2 - E - E_0 + u^2/2$. Здесь p — давление; v — удельный объем; u — массовая скорость исследуемого вещества; $E - E_0$ — критическая энергия инициирования; E — введенная ударом полная энергия; ρ_{00} и ρ_0 — начальные плотности стали и исследуемого вещества; c — скорость звука в стали. Определение скоростей пластинки и ударной волны по образцу выполнялось с помощью осциллографа ОК-33М на базах 6 и 8 мм. Количество параллельных опытов для каждого определения — 8. Результаты опытов сведены в таблицу.

Зависимость минимальной энергии инициирования образца от толщины (массы) ударяющей пластинки приведена на рис. 2. Известно, что время реакции от момента прохождения ударной волны до полного взрывчатого разложения вещества в данном сечении образца зависит от энергии инициирования: чем больше энергия инициирования, тем меньше время реакции взрывчатого разложения [3].

Время разгрузки зависит от толщины сжатого ударной волной слоя образца l (см. таблицу). В соответствии с работами Ю. Б. Харитона вре-

$\delta, \text{мм}$	$w, \text{м/с}$	$D, \text{м/с}$	$u, \text{м/с}$	$p, \text{ГПа}$	$v, \text{см}^3/\text{г}$	$E - E_0, \text{кДж/кг}$	$\tau, \text{мкс}$	$l, \text{мм}$	$M, \text{г}$
0,50	430	2780	382	1,91	0,479 ³	73,0	0,20	0,55	228,5
0,775	404	2627	361	1,71	0,479	65,3	0,30	0,80	228
0,997	364	2447	328	1,44	0,481	53,8	0,39	0,96	228
1,50	357	2386	323	1,39	0,480	52,1	0,59	1,40	—

мя реакции во фронте волны должно быть меньше времени разгрузки давления в сжатом слое образца. Когда время разгрузки давления превышает время реакции взрывчатого разложения в сжатом слое, энергия инициирования остается минимальной, постоянной и не зависит от массы ударяющей пластинки. Это соответствует ударяющим пластинкам толщиной свыше 1,2 мм (см. рис. 2). Если время разгрузки давления становится меньше времени реакции, реакция прекращается. Увеличением энергии инициирования можно уменьшить время реакции взрывчатого разложения настолько, чтобы оно стало меньше времени разгрузки давления сжатого слоя, тогда будет происходить инициирование образца. В данном случае это соответствует ударяющим пластинкам с толщиной 1—0,5 мм. Излом на кривой, выражающей зависимость энергии инициирования от массы пластинки, приблизительно соответствует равенству времен реакции взрывчатого разложения и разгрузки давления в образце. С уменьшением толщины (массы) инициирующей взрыв пластинки в интервале от 1 до 0,5 мм, минимальная энергия возбуждения взрыва ударом растет.

Экспериментально установлено, что удельный объем сжатого слоя образца при различных массах и скоростях ударяющих пластинок и минимальных энергиях инициирования изменяется незначительно (см. таблицу). Для критических условий инициирования ударом пластинок толщиной от 0,50 до 1,50 мм удельный объем сжатого слоя октогена оказался приблизительно равным 0,480 см³/г. Из постоянства удельного объема во фронте ударной волны следует, что давление в данных условиях пропорционально квадрату скорости D^2 .

Критические скорости полета пластинок разных толщин находились путем изменения метающего заряда, а именно его инертной преграды M (см. рис. 1). Критические метающие заряды для различных толщин (масс) ударяющих пластинок оказались одинаковыми (см. таблицу). Здесь уменьшение массы инициирующей пластинки компенсируется увеличением ее скорости. При толщине пластинки 1,5 мм значение M не приводится вследствие использования другого типа заряда.

Таким образом, при определении критической энергии инициирования исследуемого вещества необходимо выбирать оптимальную массу ударяющей, инициирующей пластинки. У тонких пластинок критическая энергия инициирования больше минимального значения для данного вещества. Для прессованного октогена оптимальная толщина инициирующей стальной пластинки составляет 1,2—1,5 мм. Установлено постоянство удельного объема при критических условиях взрывчатого разложения данного исходного образца пластинками с различной массой (толщиной) и скоростью.

В работе не рассматривалось влияние геометрических размеров исследуемого образца на критическую энергию инициирования ВВ. Размеры взятого для исследования образца значительно превышают критический диаметр детонации октогена. Увеличение диаметра образца от 50 до 70 мм не уменьшает критическую энергию инициирования. Точность измерений составляла 2—5%.

Если первоначально введенный критерий определения чувствительности ВВ по минимальной энергии инициирования детонации, соответствующий квадрату массовой скорости [2], критиковался [4], то в настоящее время он разделяется авторами [5].

Автор выражает благодарность В. В. Савельеву за помощь в подготовке и проведении экспериментов.

Поступила в редакцию 28/V 1982

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Я. Васильев. 1247-76-Деп. РЖ. мех., 1976, 7Б746.
2. М. Я. Васильев. ФГВ, 1965, 1, 3.
3. М. Я. Васильев. 2908-78-Деп. РЖ. мех., 1978, 11Б639.
4. F. E. Walker, R. I. Waslay. Explosivstoffe, 1969, 9, 1.
5. R. Stresau, J. Kennedy. Proc. 6-th Symp. (Intern.) on Detonation. USA, 1976.