

16. Ивандаев А. И., Кутушев А. Г. Численное исследование нестационарных волновых течений газовзвесей с выделением границ двухфазных областей и контактных разрывов в несущем газе // ЧММСС.— Новосибирск, 1983.— Т. 14, № 6.— С. 58—82.

г. Тюмень

Поступила в редакцию 29/1 1992

УДК 534.222.2

В. А. Пырьев, В. С. Соловьев

ДЕТОНАЦИОННЫЕ И МЕТАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ СЛОЕВ НАСЫПНОГО ГЕКСОГЕНА

На основе анализа известных опытных данных построена диаграмма детонационных характеристик заряда ВВ на пластине. В зависимости от высоты заряда измерены скорости метания, экспериментально исследовано влияние на скорость детонации дисперсности гексогена, материала и толщины пластины. В режиме неидеальной детонации установлено, что скорость метания возрастает по сравнению со значениями, рассчитанными по формуле Гарни, а скорость детонации заряда на пластине из дюрали выше, чем на пластине из меди.

Метание пластины скользящей детонационной волной слоя взрывчатого вещества (ВВ) широко используется при сварке взрывом, в различных устройствах генерации ударных волн. При этом детонационные характеристики заряда (скорость детонации D , предельная скорость детонации $D_{пр}$, критическая $h_{кр}$ и предельная $h_{пр}$ толщина ВВ) во многом определяют параметры метания (скорость v , угол поворота θ). Как правило, применяются схемы, в которых ВВ детонирует с предельной скоростью. Детонационные и метательные характеристики тонких слоев ВВ, детонирующих в неидеальном режиме на пластинках толщиной, равной или меньше высоты заряда, изучены недостаточно, хотя такие конструктивные параметры в устройствах находят применение. Этот пробел частично восполняют результаты данной работы.

Прежде всего, в обобщенном виде представим основные параметры детонации ВВ на пластине. Исходя из аналогии детонации ВВ в оболочке и на пластине, используя результаты ряда экспериментальных работ [1—3], построена диаграмма детонационных характеристик ВВ на пластине, акустическая жесткость материала которой выше акустической жесткости заряда (рис. 1). На каждой из трех плоскостей в координатах скорость детонации D , высота заряда h , толщина пластины Δ представлен набор зависимостей одной переменной от другой при фиксированных значениях третьего параметра (рис. 1, $a - e$), т. е. набор линий равного уровня поверхности детонационных характеристик ВВ на пластине (рис. 1, g). Эта поверхность состоит из зон идеальной I и неидеальной $D < D_{пр}$ детонации. В зоне неидеальной детонации существуют область II , в которой на детонационные параметры оказывают влияние волны разгрузки (ВР), обусловленные сжимаемостью материала пластины, и область III совместного влияния ВР за счет сжимаемости пластины и ВР с ее свободной поверхности, с преобладанием последних. Детонация заряда без пластины (линия I) является предельным случаем влияния ВР этого рода.

Для слоев ВВ, детонирующих на пластинках толщиной больше некоторой предельной $\Delta_{пр}$, зависимости $D(h)$ совпадают (линия 2) при любых значениях h . В случае $\Delta_1 < \Delta_{пр}$ (см. рис. 1, a) по мере уменьшения h кривая $D(h)$ до значения h_1 лежит в областях I , II , а после — в области III , заканчиваясь на критической кривой (линия 3). В плоскости (Δ, h) проекция критической кривой есть зависимость $h_{кр}(\Delta)$.

© В. А. Пырьев, В. С. Соловьев, 1992.

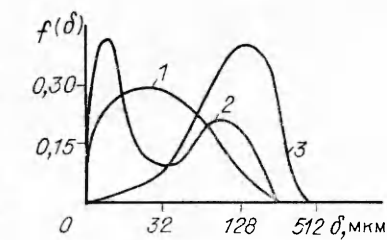
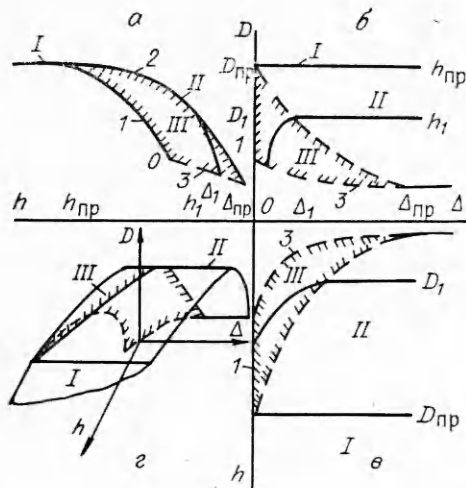


Рис. 2. Функции распределения частиц по размерам для гексогена различной дисперсности. Средний размер частиц, $\bar{\delta}$ мкм: 1 — 45, 2 — 55, 3 — 125.

Рис. 1. Диаграмма детонационных характеристик слоя ВВ на пластине.

Экспериментально определялись детонационные и метательные характеристики гексогена насыпной плотности (1 г/см^3) на пластинах из меди, дюрала и картона толщиной 1,6; 2,0 мм. Размеры пластины 80×80 мм. Применялся полидисперсный гексоген трех партий изготовления. Каждая партия характеризуется функцией плотности распределения частиц по размерам $f(\delta)$, представленной на рис. 2. Дисперсность оценивалась измерением не менее 200 частиц под микроскопом. Скорости детонации ВВ и метания пластины измерялись реостатными датчиками по методике [4].

Результаты измерения скорости детонации представлены на рис. 3, 4 в виде зависимостей от толщины слоя гексогена. На рис. 3 приведены кривые для гексогена разной дисперсности, детонирующего на пластинах из меди толщиной 1,6 мм. Известно [5], что при заданной плотности заряда величина $D_{пр}$ одинакова для ВВ любой дисперсности, но зависимость $D(h)$ на неидеальном участке для монодисперсного ВВ с большим размером частиц лежит правее. Видно, что взаимное расположение кривых $D(h)$ для ВВ с полидисперсной фракцией носит более сложный вид, но тенденции, характерные для монодисперсных ВВ, в целом сохраняются.

В дальнейших исследованиях использовался гексоген с $\bar{\delta} = 45$ мкм. На рис. 4 приведены зависимости, характеризующие влияние материала пластины и ее толщины. Принято считать, что чем выше акустическая жесткость оболочки, тем больше скорость детонации заряда. В нашем же случае при $\Delta = 2$ мм только на неидеальном участке скорость детонации гексогена на пластине из дюрала (линия 1) выше скорости детонации на пластине из меди (линия 2), а при $\Delta = 1,6$ мм зависимости во всем диапазоне высот заряда для обеих пластин совпадают (линия 2).

Причина этого заключается в соотношении скорости детонации ВВ и скорости звука в материале пластины. Если первая выше второй, то возмущения, генерируемые фронтом детонации, опережают его и оказы-

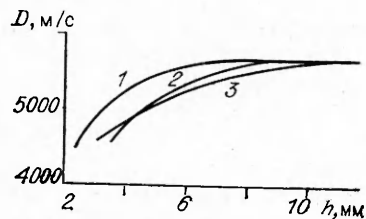


Рис. 3. Зависимость скорости детонации гексогена разной дисперсности от толщины слоя заряда.
 $\bar{\delta}$, мкм: 1 — 45, 2 — 55, 3 — 125.

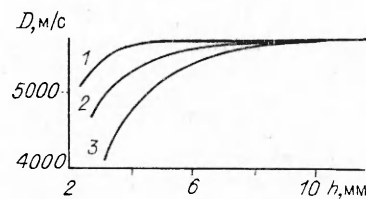


Рис. 4. Влияние материала и толщины пластины на зависимость $D(h)$.

вают влияние на заряд. Однако фактор, повышающий D за счет воздействия предвестника в пластине из дюрала, более существен для первого случая ($\Delta = 2$ мм), чем для второго ($\Delta = 1,6$ мм), так как толщина пластины больше, ослабление предвестника меньше и, следовательно, амплитуда и длительность предварительного воздействия выше. При $\Delta = 1,6$ мм повышение скорости под действием предвестника полностью компенсирует разницу в скоростях детонации ВВ на пластинах из меди и дюрала, обусловленную ВР за счет сжимаемости пластин. Поэтому зависимости $D(h)$ для пластин из меди и дюрала совпадают. Месторасположение кривой $D(h)$ для пластины из картона (см. рис. 4, 3, $\Delta = 2$ мм) согласуется с общепринятыми представлениями.

Для медных пластин с $\Delta = 1,6; 2,0$ мм зависимости $D(h)$ совпадают (см. рис. 4, 2), следовательно, предельная толщина пластины из меди $\Delta_{пр} \leq 1,6$ мм. Взаимное расположение кривых $D(h)$ для пластин из дюрала $\Delta = 1,6; 2,0$ мм удовлетворяет установившимся понятиям, предельная толщина пластин из дюрала близка к 2 мм. Если допустить, что на скорость детонации влияют только ВР, обусловленные сжимаемостью пластины, то для пластины из дюрала с $\Delta \geq \Delta_{пр}$ кривая $D(h)$ проходила бы ниже аналогичной зависимости для пластины из меди. Следовательно, разница между скоростями вдоль кривых 1 и 2, вызванная действием на значение D предвестника в пластине, близка к своему максимальному значению.

Скорости метания и детонации связаны известным соотношением $v = 2D \sin \frac{\theta}{2}$ или для малых углов поворота

$$v = D\theta. \quad (1)$$

Известна формула Гарни $\theta = \sqrt{\frac{3}{k^2 - 1}} \frac{\beta}{\beta + 2}$, где k — показатель изоэнтропы. В [6] приведена интерполяционная формула, дающая неплохое совпадение с экспериментом:

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(\sqrt{\frac{k+1}{k-1}} - 1 \right) \frac{\beta}{\beta + 2,71}, \quad (2)$$

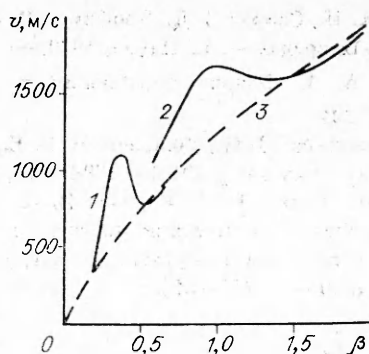
где k — интегральный показатель политропы продуктов детонации; β — коэффициент нагрузки.

Ранее при оценке параметров v , θ для каждого ВВ использовали фиксированные значения k и $D_{пр}$. Таким образом, скорость метания определялась только параметром β . Однако позже на заряде аммонита АТ-1 установлено [7], что для $\beta = 1$ при уменьшении в результате случайного разброса скорости детонации на 35% угол поворота пластины увеличивается на 30%. Под действием этих двух конкурирующих факторов значение v сократилось всего на 16, а не 35%, как получилось бы в расчете по формулам (1), (2) при допущении о постоянстве значения k . Вычисление по (2) показало, что показатель k уменьшился с 2,5 до 2,1. Именно этот результат доказал, что показатель k есть некоторая интегральная характеристика процесса метания.

Известно [5], что показатель изоэнтропы, определяемый по электромагнитной методике, увеличивается для зарядов диаметром меньше предельного за счет падения скорости детонации. При уменьшении показателя k комплекс $A = \frac{\pi}{2} \left(\sqrt{\frac{k+1}{k-1}} - 1 \right)$ в (2) увеличивается и соответственно растет значение θ . Однако при уменьшении β и росте A их связь с величинами θ и v усложняется. В опытах на зарядах аммонита 6ЖВ [8] при уменьшении диаметра с 30 до 6 мм величины D и θ сократились на 33 и 54% соответственно. Из расчета видно, что при уменьшении β на 73% для согласования с результатами опытов комп-

Рис. 5. Зависимость скорости метания пластины от коэффициента нагрузки.

1 — медь; 2 — дюраль; 3 — расчет по формулам (1), (2)



лекс A должен увеличиться на 73 %. Это говорит об уменьшении показателя k с 2,5 до 1,75. Опытная скорость метания оказалась на 15 % выше значения, рассчитанного по формулам (1), (2) при $k = 2,5$ и $D = 4200$ м/с, и на 72 % — при $k = 2,5$ и $D = 2800$ м/с.

Результаты экспериментов с гексогеном в виде зависимостей скорости метания пластины из меди и дюрала от коэффициента нагрузки при $\Delta = 1,6$ мм приведены на рис. 5. Скорости метания на неидеальном участке детонации превышают значения скорости, рассчитанные по (1), (2) при $D_{пр} = 5650$ м/с и $k = 2,8$ [6]. Для пластины из меди увеличение достигает 50 %. Расчет по формуле (2) показывает, что, как и для аммонитов, у гексогена наблюдается снижение показателя k (вплоть до 1,6 и 2,0 для пластин из меди и дюрала). При $D = D_{пр}$ кривые метания обеих пластин располагаются вблизи линии 3 предельного метания.

Повышение скорости метания произошло за счет более значительного роста величины θ (под действием возрастания A из-за снижения k) по сравнению с уменьшением значения D за счет неидеальности детонации. Чем же объяснить рост угла поворота при метании в неидеальном режиме? С одной стороны, если исходить с позиций классической теории косых детонационных волн, с уменьшением толщины заряда увеличивается кривизна фронта детонации. Даже при некотором уменьшении параметров детонации сокращение угла падения фронта к пластине приводит к возрастанию в ней параметров косой ударной волны. Для тонких пластин она — основной источник передачи энергии пластине от детонирующего ВВ. С другой стороны, можно исходить из представлений о зоне химической реакции как о зоне, протяженность которой возрастает, а параметры падают с увеличением неидеальности детонации. Каждый участок пластины подвергается более длительному воздействию со стороны зоны реакции. Возрастание этого времени определяет увеличение импульса, передаваемого пластине, по сравнению с уменьшением давления в зоне реакции.

Полученные результаты позволяют более корректно подходить к выбору соотношений между толщинами пластины и слоя метаемого ВВ в устройствах ударного нагружения, заряд которых детонирует в неидеальном режиме ($D < D_{пр}$).

Авторы выражают благодарность А. Н. Исаеву за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юхансон К., Персон П. Детонация взрывчатых веществ.— М.: Мир, 1976.— С. 352.
2. Matsui H., Yoneda K., Morigami A. et al. A generalised C.— J. condition for simple axial flow with a spherical shock front: its application to the slurry explosives/ Proc. 8th Symp. (Int.) on Detonation.— Albuquerque, 1985.— P. 548—555.
3. Ramsay J. W. Effect of confinement on failure in 95 TATB (5 Kelf) // Ibid.— P. 6—11.
4. Кузьмин Г. Е., Мали В. И., Пай В. В. О метании плоских пластин слоями конденсированных ВВ // ФГВ.— 1973.— 9, № 4.— С. 558—562.

5. Дремин А. Н., Савров С. Д., Трофимов В. С. и др. Детонационные волны в конденсированных средах.— М.: Наука, 1970.— С. 163.
6. Дерibas А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом.— Новосибирск: Наука, 1980.— С. 224.
7. Бешапошников Ю. П., Кожевников В. Е., Чернухин В. И. и др. Метание пластин слоями смесевых ВВ // ФГВ.— 1988.— 24, № 4.— С. 129—132.
8. Адамец М., Злобин Б. С., Кисилев В. В. Экспериментальное определение угла поворота пластин при метании низкоскоростными взрывчатыми веществами // Обработка материалов импульсными нагрузками/Под ред. Г. Е. Кузьмина.— Новосибирск, 1990.— С. 211—215.

г. Москва

Поступила в редакцию 24/III 1992