

ЛИТЕРАТУРА

1. Солоухин Р. И. Ударные волны и детонация в газах.— М.: Физматгиз, 1963.— 321 с.
2. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений.— М.: Наука, 1966.— 686 с.
3. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике.— М.: Наука, 1967.— 491 с.
4. Рэди Дж. Действие мощного лазерного излучения.— М.: Мир, 1974.— 528 с.
5. Сысоев Н. Н., Шугаев Ф. В. Ударные волны в газах и конденсированных средах.— М.: Изд-во МГУ, 1987.— 133 с.
6. Гладков С. О., Токарев А. М. К теории импульсного теплового воздействия на твердое горючее цилиндрической формы // ФГВ.— 1990.— 25, № 1.— С. 30—38.
7. Кузнецов Н. М. // ЖЭТФ.— 1985.— 88, вып. 2.— С. 470—486.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред.— М.: Наука, 1980.— Т. 8.— 620 с.
9. Келдыш Л. В. // ЖЭТФ.— 1964.— 47, вып. 5.— С. 1945—1957.
10. Делоне Н. Б., Крайнов В. П. Атом в сильном световом поле.— М.: Энергоатомиздат, 1984.— 224 с.
11. Берлин Ю. А., Гладков С. О., Гольданский В. П. и др. // Докл. АН СССР.— 1989.— 306, № 4.— С. 844—847.

г. Москва

Поступила в редакцию 5/VI 1990.
после доработки — 2/XI 1992

УДК 662.215.1

В. И. Мали, А. В. Соловов

О РЕГИСТРАЦИИ ПРОФИЛЕЙ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН ПРИ ВЗРЫВНОМ ОБЖАТИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АМПУЛ

Приведены экспериментальные данные по исследованию геометрической конфигурации детонационных волн при компактировании порошков в цилиндрических стальных ампулах коаксиальным наружным зарядом аммонита. Получена аппроксимация полиномом геометрической конфигурации детонационной волны.

Заряды смесевых ВВ типа аммонита широко используются для динамического обжата ампул с порошком. Исследования режимов взрывного обжата, применяемых на практике, позволят оптимизировать геометрию заряда и ампулы, тип ВВ в целях получения прочных компактов.

В данной работе представлены результаты экспериментов по высокоскоростной фоторегистрации самосветящихся процессов при обжате ампул зарядом аммонита. Опыты по изучению детонационных волн (ДВ) в системах коаксиальный заряд аммонита 6ЖВ — стальная ампула с порошком окиси алюминия проводились с применением СФР (рис. 1). Диаметр заряда аммонита 6ЖВ $d = 130$ мм, плотность ВВ $\rho_0 = 0,9$ г/см³. Ампула ($d_1 = 50$ мм) с порошком располагалась по оси заряда, толщина стенок ампулы $m = 4,5$ мм, материал ампулы — сталь марки 12Х18Н10Т. Порошок — окись алюминия ($\rho_1 = 1,3$ г/см³, или 35 % плотности монолита). Оболочка заряда — цилиндр из ватмана. Схема инициирования заряда одноточечная, детонатор располагался по оси заряда. Во всех экспериментах расстояние от детонатора до ампулы составляло 25 мм, диаметры заряда и ампулы не менялись. Длина ампулы изменялась от 50 до 250 мм, длина заряда H — от 75 до 275 мм.

Для ограничения яркого свечения детонации при фоторегистрации перфорированные экраны (шаг перфорации 5 мм) из черной бумаги размещались на боковой поверхности и на торце заряда. От аммонита перфорацию отделяла полоса лавсановой пленки толщиной 50 мкм. Применение перфорированных экранов с лавсановой пленкой позволило получить четкие фоторегистрограммы развертки процесса распространения

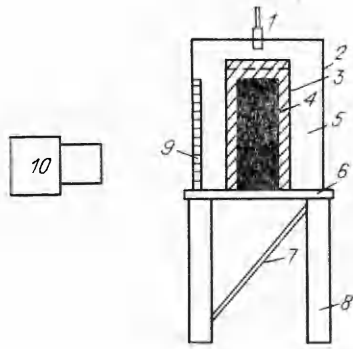
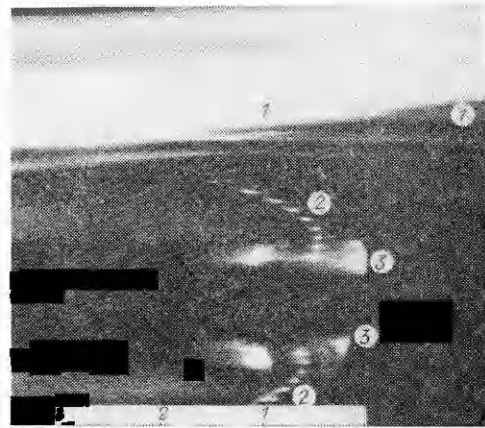


Рис. 1. Схема эксперимента по обжатию ампулы.

1 — электродетонатор; 2 — оболочка заряда из ватмана; 3 — стенка стальной ампулы; 4 — порошок окиси Al; 5 — аммонит 6ЖВ; 6 — пластина оргстекла; 7 — зеркало; 8 — подставка для заряда; 9 — перфорация в оболочке; 10 — СФР.

Рис. 2. Развертка регистрируемого процесса.

1 — развертка распространения ДВ по боковой поверхности заряда; 2 — выход ДВ на торец заряда; 3 — предсвечение под стенками ампулы.



детонационного фронта (рис. 2). СФР регистрирует как распространение ДВ по боковой поверхности заряда (рис. 2, 1), так и форму детонационного фронта при выходе на торец заряда (см. рис. 2, 2).

При анализе распространения ДВ следует учитывать сферичность фронта на начальном участке вследствие одноточечной схемы инициирования, влияние свободной боковой поверхности заряда ВВ (разлет ПД в воздух), а также влияние металла ампулы на детонацию ВВ. После статистической обработки данных предложена зависимость для профиля ДВ в момент выхода на торец заряда:

$$Y(x) = A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2, \quad (1)$$

где Y , x — координаты фронта ДВ (в мм) ($x=0$ на стенке ампулы); A_1 , A_2 — коэффициенты полинома. Данная аппроксимация учитывает как искривление детонационного фронта на свободной поверхности, так и искажение фронта на границе металл — ВВ. Средние значения коэффициентов: $\bar{A}_1 = 0,083$, $A_2 = 0,0058$, разброс значений $\pm 50\%$ вокруг A_1 и A_2 .

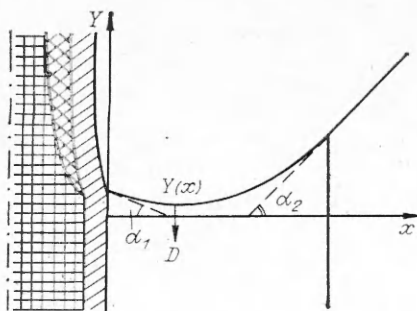


Рис. 3. Характерный профиль детонационной волны.

Величинами коэффициентов определяются углы падения ДВ на границы ВВ с воздухом и металлом (рис. 3). Угол между фронтом ДВ и границей ВВ — металл $\alpha_1 = \arctg(A_1)$, угол между свободной поверхностью заряда и фронтом ДВ $\alpha_2 = \arctg(A_1 + A_2 \times (d - d_1)/2)$. Так что $-8,4 \leq \alpha_1 \leq -2,0^\circ$, $16,9 \leq \alpha_2 \leq 25,9^\circ$. Значения α_2 , наблюдаемые в опытах, существенно отличаются от приведенных для аммонита в [1].

Усредненная экспериментальная зависимость скорости детонации от высоты заряда: $D(H) = 4,725 \div 0,003 H$ для $125 < H < 275$. Существенный разброс параметров детонации аммонита 6ЖВ можно объяснить неоднородностями плотности насыпного ВВ, а также использованием ВВ различных партий и сроков хранения.

Угол подхода детонационного фронта к свободной поверхности на начальном участке детонации зависит от положения двух эффектов: хода сферической составляющей и влияния свободной поверхности заряда. Было проведено сравнение регистрируемого фронта со сферическим фронтом. Для зарядов длиной 75 и 125 мм отклонения от сферичности на свободной поверхности заряда незначительны, на больших расстояниях отклонения становятся существенными и профиль фронта лучше описывается аппроксимацией (1). Как видно из экспериментов, после $H = 150$ мм режим неидеальной детонации можно считать установившимся (по крайней мере до $H = 275$ мм). На конфигурацию фронта ДВ влияют свободная поверхность и граница ВВ — металл, которые и будут определяющими при анализе режима установившейся неидеальной детонации.

Интерес представляет искривление детонационного фронта на границе ВВ — металл, где $\alpha_1 = -(2 \div 8^\circ)$, что может оказаться существенным при определении параметров продуктов детонации на границе с металлом. Такое искривление фронта может быть обусловлено волной разрежения за УВ в ВВ при установившемся режиме неидеальной детонации, влиянием возмущений, распространяющихся по стенке ампулы впереди детонационного фронта в условиях дозвукового нагружения, диссипативными и тепловыми потерями в пограничном с металлом слое ВВ за УВ.

Толщина вязкого пограничного слоя оценивается через число Рейнольдса:

$$\delta_1 \sim a/\sqrt{Re},$$

где $Re = a \cdot v/\nu$; v и ν — характерные скорость и вязкость ударно-сжатого ВВ в зоне реакции; a — характерный размер порядка зоны реакции. Характерный «тепловой» слой, где существует основной градиент температур: $\delta_2 \sim a/\sqrt{Re Pr}$. Число Прандтля $Pr = \nu \cdot c_p/\lambda$; c_p , λ — характерные теплоемкость и теплопроводность ударно-сжатого ВВ в зоне реакции. Данные по вязкости и теплопроводности ударно-сжатого ВВ для оценки взяты из [2]. Таким образом, можно сказать, что толщины пограничного вязкого и теплового слоев сравнимы с размером частиц порошкового ВВ (оценка дает $\delta_1 \sim 10^{-1}$ см, $\delta_2 \sim 10^{-4}$ см), и влияние их на общую энергетiku процесса мало по сравнению с влиянием сжимаемости металла.

В установлении режима неидеальной детонации на границе с металлом главную роль играют, судя по всему, сжимаемость металла и возмущения, распространяющиеся впереди детонационного фронта по стенкам ампулы. Убегающие возмущения могут уплотнять ВВ перед ДВ и, вследствие немонотонного характера зависимости скорости детонации малоплотных смесевых аммиачно-селитряных ВВ от начальной плотности ВВ, влияют на форму ДВ вблизи металла.

Для анализа формы детонационного комплекса на границе с металлом можно воспользоваться методом ударных поляр в плоскости $P - \Theta$, предложенным, например, в [4]. Однако применимость данного метода в случае дозвуковой по отношению к металлу детонации находится под вопросом. Следует отметить, что ампулы после обжатия характеризуются неодинаковым диаметром в разных сечениях и выход на стационарный диаметр обжатия (40 мм) происходит после прохождения детонационной волной 60—70 мм вдоль ампулы.

В целях отработки методики проведены эксперименты по обжатию ампулы двухслойным зарядом (внешний слой — 15 мм гексогена, внутренний — 25 мм аммонита 6ЖВ). Зарегистрирован угол падения на по-

верхность ампулы, составляющий $42 \div 45^\circ$, что согласуется со значением $\arcsin(D_1/D_2)$, где D_1 и D_2 — скорости детонаций аммонита и гексогена соответственно. Метод двухслойных зарядов позволяет в широком диапазоне варьировать параметры динамической нагрузки, как отмечено в [5].

В двух опытах при $H = 275$ мм зафиксировано свечение под стенками ампулы и пристеночным слоем порошка. Свечение возникало за $0,5\text{--}0,8$ мкс до выхода ДВ на торец заряда (см. рис. 2, 3). В работе [6] при регистрации профилей давления в порошке Al_2O_3 отмечены предвестники, опережающие основной ударный фронт на интервалы указанного выше порядка. Но наиболее вероятным представляется объяснение этого предсвечения возмущениями, убегающими по стенкам ампулы в условиях дозвуковой по отношению к металлу детонационной волны. На рентгенограмме, приведенной в [3], видно, что подобные убегающие возмущения уплотняют пристеночный слой ВВ перед ДВ и отрывают его от металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордонолов Ю. А., Шихвердиев Р. М. Расчет давления на поверхности пластины, метаемой продуктами взрыва при скользящей детонации // ФГВ.— 1990.— 26, № 2.— С. 123.
2. Митрофанов В. В. Детонационные волны в гетерогенных средах.— Новосибирск: НГУ, 1989.
3. Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И. Промышленные взрывчатые вещества.— М.: Недра, 1988.— С. 84—133.
4. Кобылкин И. Ф., Соловьев В. С., Бойко Н. М. Критический диаметр стационарной детонации высокоплотных ВВ. Влияние оболочки // ФГВ.— 1983.— 19, № 4.— С. 120.
5. Штерцер А. А., Пятин С. А. Нанесение покрытий из быстрозакаленных гранул с использованием комбинированных зарядов // Int. Seminar on High Energy Working of Rapidly Solidified Materials.— Новосибирск, 1988.— С. 66.
6. Ставер А. М., Кузьмин Г. Е., Нестеренко В. Ф. Экспериментальное исследование ударных волн в пористых средах // 2-е совещание по обработке материалов взрывом.— Новосибирск, 1981.— С. 150.

г. Новосибирск

Поступила в редакцию 20/VII 1992,
после доработки — 30/X 1992

УДК 534.222.2

В. С. Лановец, В. А. Левин, Н. К. Рогов, Ю. В. Туник, К. Н. Шамшев

РАЗЛЕТ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННОГО ВВ С ТВЕРДОФАЗНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Численно исследуется разлет продуктов детонации заряда конденсированной взрывчатки, имеющего форму шара и содержащего равномерно распределенные по объему химически инертные твердофазные частицы. Расчеты выполнены на основе двухскоростной и двухтемпературной модели проникающих континуумов, один из которых представляет собой газообразные продукты детонации ВВ или газ атмосферы, а другой — среду, соответствующую химически нейтральным тяжелым частицам.

Рассматривается разлет продуктов детонации (ПД) заряда конденсированной взрывчатки, имеющего форму шара радиуса R_* и содержащего равномерно распределенные по объему химически инертные твердофазные частицы. Детонация инициируется в центре и распространяется к периферии заряда.

Детонационная волна считается бесконечно тонкой. В соответствии с [1] предполагается также, что ПД представляют собой совершенный

© В. С. Лановец, В. А. Левин, Н. К. Рогов, Ю. В. Туник, К. Н. Шамшев, 1993.