

УДК 534.222.2

ИНИЦИИРОВАНИЕ ПАССИВНОГО ЗАРЯДА ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА ЧЕРЕЗ ПРЕГРАДУ ПРИ НАЛИЧИИ ЗАЗОРОВ

В. А. Огородников¹, А. В. Романов¹, Е. А. Гончаров², А. И. Давыдов²,
И. А. Свиридова²

¹РФЯЦ, ВНИИ экспериментальной физики, Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва
607190 Саров, root@gdd.vniief.ru

²РФЯЦ, ВНИИ экспериментальной физики, Институт теоретической и математической физики
607190 Саров

Представлены экспериментальные данные по измерению времени инициирования пассивного заряда взрывчатого вещества (ВВ) активным зарядом через инертную преграду при наличии воздушных зазоров. Рассмотрены два типа зазоров: перпендикулярные пассивному заряду (щель в инертной преграде) и параллельные поверхности пассивного заряда (между инертной преградой и пассивным ВВ). В случае зазоров, параллельных поверхности пассивного заряда ВВ, исследуется двухволновое нагружение пассивного заряда ВВ, создаваемое ударами тонких пластин, располагающихся на поверхности основной преграды, на стороне, обращенной к пассивному заряду ВВ. Проведен анализ экспериментальных данных с помощью численных расчетов по программе ЭГАК на эйлеровой сетке, для определения момента инициирования использовался критериальный параметр F , величина которого пропорциональна энергии, выделяющейся на сдвиговых деформациях при прохождении ударной волны по пассивному заряду ВВ.

Ключевые слова: зазор, преграда, пассивный заряд, детонация, опережение, задержка.

В литературе достаточно подробно рассмотрены вопросы, связанные с передачей детонации от активного заряда взрывчатого вещества (ВВ) к пассивному, осуществляемой напрямую или через различные преграды: сплошные, как, например, пластины конструктивных материалов, либо через воздушные промежутки или зазоры [1, 2]. При этом отмечается, что механизм возникновения детонации качественно одинаков для различных передающих сред (металлы, жидкости, воздух) и пассивных зарядов ВВ (гетерогенных и гомогенных). Детонация в пассивном заряде ВВ возбуждается или продуктами взрыва, или ударными волнами (УВ), распространяющимися в преграде, разделяющей заряды. В обоих случаях происходят сжатие и соответственно нагрев тонкого слоя ВВ пассивного заряда, его воспламенение и переход горения в детонацию.

В ряде практически важных случаев передача детонации через преграды осуществляется при наличии вертикальных зазоров (зазор перпендикулярен поверхности пассивного заряда ВВ) между отдельными частями преграды или горизонтальных зазоров (зазор параллелен поверхности пассивного заряда ВВ) между преградой и пассивным зарядом ВВ.

В первом случае преграда может состоять из двух частей, разделенных вертикальным воздушным зазором различной ширины, во втором — из двух расположенных вплотную друг к другу частей (нижней, обращенной к пассивному заряду ВВ, и верхней, прилегающей к активному заряду ВВ), при этом возможно наличие горизонтального воздушного зазора между преградой и пассивным зарядом ВВ. Особый интерес представляет случай, когда нижняя часть преграды выполнена тонкой по сравнению с верхней частью и ее импеданс (произведение плотности на скорость звука в материале преграды) меньше, чем импеданс верхней преграды. В этом случае при наличии воздушного зазора между преградой и пассивным зарядом ВВ реализуется искусственный откол, что приводит к образованию в пассивном заряде ВВ двух последовательно идущих, короткой и более длительной, ударных волн. Параметры первой УВ заметно зависят от толщины откола, что может привести или к детонации пассивного заряда ВВ, или к его десенсибилизации [3]. В любом случае наличие вертикальных или горизонтальных зазоров является источником иногда нежелательной разновременности движения различных участков фронта детонации.

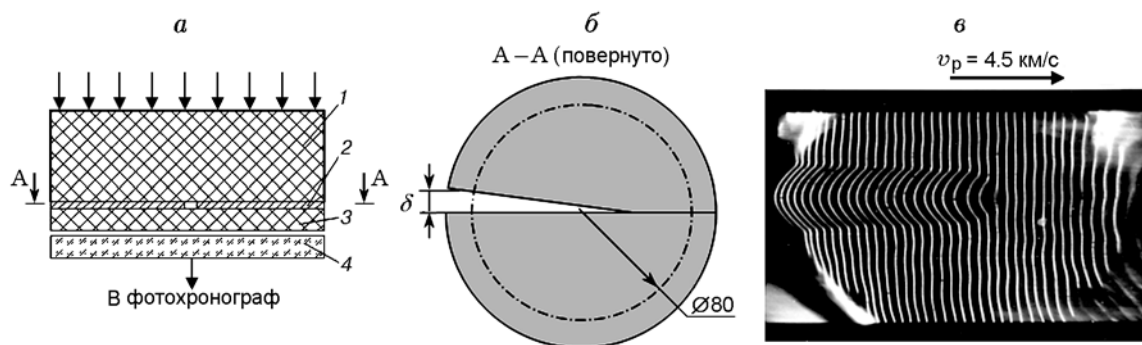


Рис. 1. Схема опытов с вертикальным воздушным зазором:

a — общая схема экспериментального макета: 1 — активный заряд ВВ, 2 — преграда, 3 — пассивный заряд, 4 — подставка из оргстекла; *б* — вид и размеры клиновидного зазора между свинцовыми дисками; *в* — характерная фотохронограмма (v_p — скорость и направление развертки)

онной волны (ДВ) в пассивном заряде ВВ, и этот вопрос требует более детального рассмотрения. В данной работе приведены результаты двух серий специальных опытов.

ПОСТАНОВКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

Схема постановки опытов первой серии по исследованию процесса инициирования пассивного заряда ВВ через преграду, в которой имеется вертикальный воздушный зазор переменной величины, приведена на рис. 1, *a*. В опытах использовали пассивные заряды конденсированного ВВ диаметром 120 мм. Высота активного заряда ВВ составляла 40 мм, пассивного — 10 мм. Между зарядами ВВ устанавливали преграду из свинца толщиной 3.5 мм. В преграде имелся вертикальный зазор, величину δ которого изменяли в пределах $0 \div 1.5$ мм (рис. 1, *б*). При этом зазор размером $\delta = 1.5$ мм находился на расстоянии 40 мм от оси сборки и не попадал в область воздействия боковой разгрузки. Пассивный заряд ВВ устанавливали через зазор $0.5 \div 0.6$ мм на подставку из оргстекла, которая одновременно являлась оптической отсечкой света при фотохронографической регистрации [4]. Специальным генератором в активном заряде ВВ возбуждали плоскую ДВ. Фотохронографом, работающим в режиме растровой развертки, регистрировали разновременность выхода ДВ на свободную поверхность исследуемого пассивного заряда ВВ под проекцией зазора в преграде и непосредственно под преградой, погрешность измерения времени не хуже ± 0.03 мкс.

На рис. 1, *в* приведена характерная фотохронограмма опыта. Из нее определяли время

опережения (Δt) выхода фронта ДВ на свободную поверхность пассивного заряда ВВ в области расположения зазора в преграде по отношению к области, которую нагружали непосредственно через преграду. В опытах растр настраивали таким образом, что в каждую его щель попадала проекция под зазором определенного размера δ , что позволило построить зависимость времени опережения выхода ДВ на свободную границу пассивного заряда от величины зазора $\Delta t(\delta)$ (рис. 2). Из рис. 2 следует, что при $\delta \approx 0.5 \div 0.6$ мм и далее при увеличении зазора время опережения возбуждения детонации в пассивном заряде ВВ под зазором в преграде по отношению к его инициированию непосредственно через преграду практически постоянно и составляет $\Delta t = -0.6 \pm 0.05$ мкс. Оценки показывают, что значение

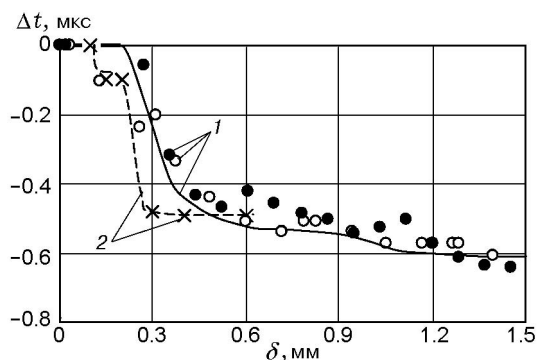


Рис. 2. Зависимость времени опережения выхода ДВ от ширины зазора:

1 — кривая, построенная по экспериментальным точкам: \circ — опыт № 1, \bullet — опыт № 2; 2 — расчетная зависимость

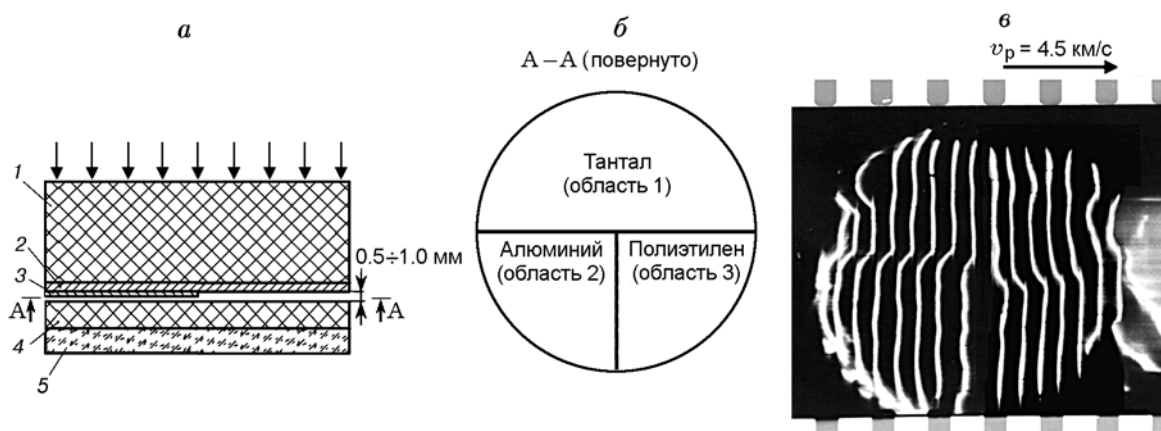


Рис. 3. Схема опытов с горизонтальным воздушным зазором:

a — общая схема экспериментального макета: 1 — активный заряд ВВ, 2, 3 — толстая и тонкая пластины, 4 — пассивный заряд ВВ, 5 — оптическая отсечка света из оргстекла; *б* — расположение тонких пластин на толстой пластине; *в* — характерная фотохронограмма (v_p — направление развертки)

$\Delta t = -0.6$ мкс обусловлено различием скоростей движения УВ в преграде ($v \approx 4$ км/с) и разлета продуктов взрыва в зазор ($v \approx 8$ км/с), т. е. «проскок» детонации через вертикальный зазор связан с инициированием пассивного заряда ВВ продуктами взрыва.

Во второй серии опытов, постановка которых показана на рис. 3, *a*, исследовали процесс передачи детонации от активного заряда ВВ через комбинированную преграду, расположенную с некоторым горизонтальным воздушным зазором по отношению к пассивному заряду ВВ. Преграда состояла из толстой и тонкой пластин или только из толстой пластины. Толстая пластина толщиной 2.5 мм была изготовлена из тантала, а тонкие пластины толщиной 0.10 и 0.15 мм — из алюминия и полиэтилена соответственно. Тонкую пластину устанавливали вплотную под толстой со стороны пассивного заряда ВВ. Расстояние между пассивным зарядом ВВ и толстой пластиной составляло в разных опытах 0.5 или 1.0 мм. В такой постановке опыта (преграда из двух пластин) пассивный заряд ВВ нагружался системой двух УВ. Первая волна генерируется ударом тонкой пластины, и ее амплитуда зависит от материала пластины; вторая волна (основная УВ) генерируется ударом толстой пластины, и ее амплитуда постоянна. При этом первая УВ может возбуждать или не возбуждать детонацию в пассивном заряде ВВ, а вторая УВ достаточно надежно инициирует детонацию в пассивном заряде ВВ. На рис. 4 приведены профили

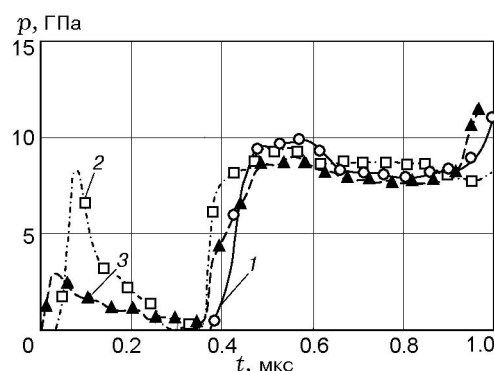


Рис. 4. Характерные профили давления во фторопласте под разными областями нагружений (см. рис. 3, *б*):

1 — удар только толстой пластиной (область 1 на рис. 3), 2 — удар сначала тонкой (алюминий), затем толстой пластиной (область 2), 3 — удар тонкой (полиэтилен), затем толстой пластиной (область 3)

давлений, измеренные манганиновыми датчиками на наружной поверхности имитатора (из фторопласта) пассивного заряда ВВ.

Ввиду малости толщины тонких пластин h по сравнению с диаметром D пассивного заряда ВВ ($h/D = 0.15/120 \approx 0.001$) под одну четверть площади толстой пластины устанавливали тонкую пластину из алюминия, под вторую четверть — тонкую пластину из полиэтилена, а половина поверхности толстой пластины оставалась свободной (рис. 3, *б*). Это позволило в одном опыте реализовать нагружение пассивного заряда ВВ тремя способами: в об-

ласти 1 — ударом толстой пластины, в областях 2 и 3 — сначала ударом тонкими пластинами из алюминия или полиэтилена, а затем ударом толстой пластины.

Применяя фотохронограф, работающий в режиме растровой развертки, регистрировали разновременность выхода детонационной волны на свободную поверхность пассивного заряда ВВ под областями, нагружаемыми различными способами (рис. 3, в). Как следует из фотохронограммы опыта, по отношению к области 1 (нагружение только толстой пластиной, т. е. только одной УВ) детонационная волна выходит на свободную поверхность пассивного заряда ВВ под проекцией области 2 (нагружение сначала тонкой пластиной из алюминия, затем толстой пластиной или системой двух УВ) с опережением на 0.20 или 0.45 мкс при величине зазора 0.5 или 1.0 мм соответственно, а под проекцией области 3 (нагружение сначала тонкой пластиной из полиэтилена, затем толстой пластиной или системой двух УВ) — с отставанием на 0.15 мкс. Таким образом, и в случае такого нагружения при наличии горизонтальных зазоров возможно появление разновременности на фронте ДВ (см. рис. 3, в).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

В 60–70-е годы прошлого века в качестве критерия возникновения детонации в ВВ при ударно-волновом нагружении достаточно широко использовалась величина

$$p^2\tau = \text{const}, \quad (1)$$

пропорциональная энергии, выделяющейся в ВВ под действием сдвиговых деформаций [7, 8]. Здесь p — среднее давление, τ — время действия нагрузки. Очевидно, что этот критерий имеет феноменологический характер. Поэтому правильнее использовать выражение (1) как критериальный параметр, значение которого зависит от характера, интенсивности и времени воздействия нагружения пассивного заряда ВВ. Это критическое значение, которое слабо меняется при не слишком большом разбросе параметров нагружения, определяется из экспериментов и может быть использовано для предсказания возможности возбуждения детонации ВВ в близких по характеру нагружения опытах.

В данной работе использовали аналог выражения (1). Во всех счетных ячейках пассив-

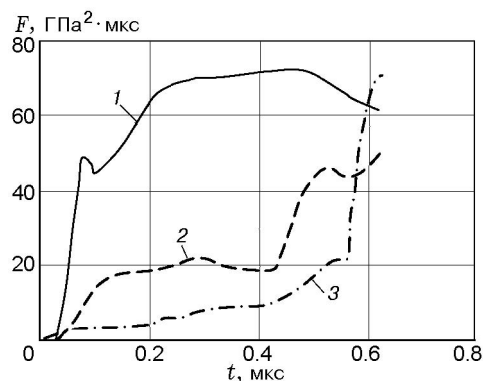


Рис. 5. Расчетная зависимость $F(t)$ при ширине зазора в преграде $\delta = 0.4$ (1), 0.2 (2), 0.1 мм (3)

ного заряда ВВ по программе ЭГАК [5] рассчитывали величину

$$F = \int p^2 dt \quad (2)$$

и по ячейке с максимальным значением F по заданному критическому значению этого параметра определяли момент времени возникновения детонации, который сравнивали с экспериментальными значениями. На рис. 5 представлены расчетные зависимости $F(t)$ при различной величине вертикального зазора в преграде (см. рис. 1).

Если в качестве критического выбрать значение $F = 25$, то получающаяся разновременность возникновения детонации под зазором и под преградой при расчетах для условий первой серии опытов (см. рис. 1), которые приведены на рис. 2, не противоречит экспериментальным результатам. Отметим, что значение $F = 25$ намного превосходит известное критическое значение, например, для ВВ РХВ-9404 $F \approx 6$ при инициировании детонации плоским ударником [7]. По-видимому, это связано с существенно различающимся характером воздействия на ВВ пассивного заряда: в одном случае плоским ударом по всей поверхности ВВ, в другом — узкой струей продуктов взрыва.

На рис. 6 приведена расчетная зависимость $F(t)$ для условий второй серии опытов (см. рис. 3) при различных способах нагружения ВВ пассивного заряда. Из рисунка видно, что если в качестве критического взять значение $F \approx 4$, то от удара тонкой пластиной из полиэтилена детонация в пассивном заряде не возбуждается. Она возникает от второй УВ, ге-

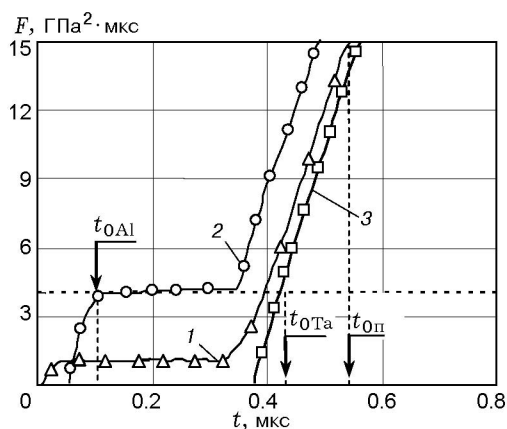


Рис. 6. Расчетная зависимость $F(t)$ при нагружении ВВ пассивного заряда различными способами:

нагружение: 1 — сначала тонкой (полиэтилен), затем толстой пластиной, 2 — сначала тонкой (алюминий), затем толстой пластиной, 3 — только толстой пластиной; момент возникновения детонации в пассивном заряде ВВ: t_{0Al} — при $F \geq 4$ в случае его нагружения алюминиевой, затем танталовой пластиной, t_{0Ta} — при $F \geq 4$ в случае нагружения только танталовой пластиной, $t_{0п}$ — при $F \geq 15$ в случае нагружения полиэтиленовой, а затем танталовой пластиной

нерируемой ударом толстой пластины из тантала. В случае же удара по пассивному заряду ВВ тонкой пластиной из алюминия или только толстой пластиной из тантала детонация возбуждается первой УВ, а разница времен начала возбуждения детонации ($\Delta t = t_{0Ta} - t_{0Al}$) составляет ≈ 0.4 мкс, что согласуется с экспериментальными данными (см. рис. 3).

Зафиксированное в опытах более позднее возникновение детонации в случае, когда первая УВ обусловлена ударом тонкой пластины из полиэтилена по поверхности пассивного заряда ВВ, связано, по-видимому, с десенсibilизацией пассивного заряда ВВ после прохождения первой слабой УВ. На это указывают два обстоятельства.

Во-первых, в случае двухволнового нагружения основная УВ воздействует на пассивный заряд ВВ раньше, чем при нагружении его ударом только толстой пластины. Поэтому при одинаковой чувствительности пассивного заряда ВВ более раннее возбуждение детонации должно произойти в случае двухволнового нагружения.

Во-вторых, экспериментальному моменту возбуждения детонации пассивного заряда ВВ

при двухволновом нагружении соответствует значение $F \approx 15$ ($\Delta t = t_{0п} - t_{0Ta} \approx 0.1$ мкс, рис. 6), что заметно больше критического для плоского нагружения значения $F \approx 4$. При близких условиях нагружения основной УВ большее значение F указывает на меньшую чувствительность ВВ, обусловленную, по-видимому, его десенсibilизацией.

Таким образом, показано, что инициирование пассивного заряда ВВ через преграду при наличии зазоров может приводить к появлению разновременности в движении участков фронта детонационной волны в пассивном заряде. При этом в зависимости от вида зазора или от характера воздействия на ВВ продуктов взрыва значение критериального параметра F может измениться в несколько раз. Подтверждено, что предварительное нагружение пассивного заряда ВВ слабой УВ может приводить к его частичной десенсibilизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беляев А. Ф.** Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем. — М.: Наука, 1968.
2. **Физика взрыва** / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович, В. П. Челышев, Б. И. Шехтер. — М.: Наука, 1975.
3. **Комрачков В. А., Ковтун А. Д., Макаров Ю. М.** Применение импульсной рентгенографии для исследования ударно-волнового инициирования ТАТБ // Физика горения и взрыва. — 1999. — Т. 35, № 2. — С. 96–101.
4. **Дубовик А. С.** Фотохронографическая регистрация быстропротекающих процессов. — М.: Наука, 1964.
5. **Дарова Н. С., Дибиров О. А., Жарова Г. В., Шанин А. А., Янилкин Ю. В.** Комплекс программ ЭГАК. Лагранжево-эйлерова методика расчета двумерных газодинамических течений многокомпонентной среды // ВАНТ. Сер. ММФП. — 1994. — Вып. 2. — С. 51–58.
6. **Методы** исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках / под ред. М. В. Жерноклетова. — Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2005.
7. **Walker F. E., Wasley R. J.** Critical energy for shock initiation of heterogeneous explosives // Explosivstoffe. — 1969. — N 1. — P. 9–13.
8. **Stresey R. H., Kennedy J. E.** Critical conditions for shock initiation of detonation in Real systems // Proc. 6th Symp. on Detonation, Coronado, California, 24–27 August 1976. — P. 68–75.