

## ОСОБЕННОСТИ ИНИЦИИРОВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ ТАТБ РАСХОДЯЩЕЙСЯ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ

Ю. А. Аминов, А. В. Вершинин, В. П. Воронина, Н. С. Еськов,  
О. В. Костицын, Б. Г. Лобойко, Г. Н. Рыкованов, М. А. Стриженок

РФЯЦ, ВНИИ технической физики, 456770 Снежинск

Рассматривается развитие детонации низкочувствительного взрывчатого вещества при инициировании расходящейся ударной волной через инертную преграду. Экспериментально и расчетно показано, что в случае, когда начинают влиять свойства веществ и геометрические факторы, первичный очаг разложения исследуемого взрывчатого вещества, находящегося в условиях, близких к критическим по возбуждению детонации, располагается в периферийной зоне вблизи преграды и имеет осесимметричную кольцеобразную форму.

В различных экспериментах с расходящейся ударной волной, воздействующей на взрывчатое вещество (ВВ), в условиях, близких к критическим по инициированию, наблюдался кольцеобразный очаг разложения. В [1] описаны эксперименты, в которых образцы ВВ (порошкообразные тротил и гексоген, ТГ 50/50) инициировались воздушной сферически расходящейся ударной волной через алюминиевый экран. В [2] содержатся результаты исследования инициирования литого тротила и ТГ 50/50 тонким донорным слоем (флегматизированный тэн), который подрывался детонирующим зарядом ВВ малого диаметра.

В настоящей работе рассматривается экспериментальная методика типа ГЭП-ТЕСТ с расходящейся инициирующей ударной волной, используемая для исследования поведения взрывчатых составов при слабых ударно-волновых воздействиях. В частности, одним из исследуемых веществ был низкочувствительный пластифицированный состав на основе ТАТБ (ПСТ). Экспериментальная сборка показана на рис. 1. Активный заряд из октогенсодержащего ВВ подрывается в центре свободного торца. Интенсивность инициирующей ударной волны варьируется путем изменения толщины инертной преграды из оргстекла. В эксперименте определяется скорость детонационной или ударной волны вдоль оси симметрии исследуемого образца.

Как отмечалось ранее [3], численное моделирование процесса в конкретной экспериментальной сборке с учетом кинетики разложения исследуемого ВВ выявило интересную особенность инициирования ПСТ в условиях, близких

к критическим. При некоторой толщине преграды, когда детонация в образце ПСТ на оси симметрии уже не развивается, возникает осесимметричный кольцеобразный очаг горения вблизи боковой поверхности. Параметры экспериментальной сборки [3]: диаметр  $d = 60$  мм, толщина активного ВВ  $H_a = 20$  мм, толщина образца ПСТ  $H_{ПСТ} = 50$  мм. Для проведения двумерного расчета указанной системы использовался программный комплекс МАХ [4]. Анализ изолиний концентрации непрореагировавшего ПСТ [3] показывает, что развитие детонации в исследуемом образце определяется очагом, имеющим первоначально кольцеобразную форму диаметром  $\approx 50$  мм. При дальнейшем развитии процесса очаг расширяется, захватывая и центральную часть ПСТ.

Качественное объяснение явления, приведенное в [3], сводится к следующему. В рассматриваемой системе режим падения на преграду сферически расходящейся детонационной вол-

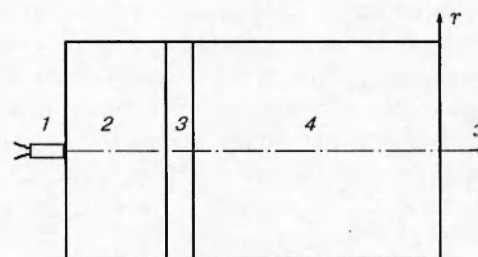


Рис. 1. Схема эксперимента:

1 — капсюль-детонатор, 2 — активный заряд, 3 — преграда из оргстекла, 4 — образец ПСТ

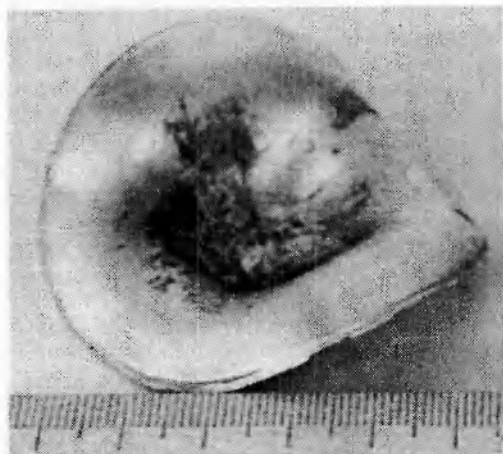


Рис. 2. Алюминиевая пластина после опыта (вид со стороны свободной поверхности)

ны плавно переходит от нормального в точке на оси симметрии, где наблюдается резкий спад давления за фронтом волны, до близкого к скользящему вблизи боковой поверхности. Поэтому при удалении от оси профиль давления ударной волны, входящей в преграду, становится менее крутым, а ее затухание в преграде уменьшается за счет уменьшения кривизны фронта. При определенной толщине преграды амплитуда воздействующего на ПСТ инициирующего импульса в удаленных от центра точках может оказаться больше, чем в центре. В этом случае, даже если в центре образца детонация развиваться не будет, очаг разложения может возникнуть в периферийной зоне прилегающего к преграде слоя ПСТ. Этому способствует и увеличенная длительность ударно-волнового импульса в удаленных от центра точках из-за более пологого спада давления за ударным скачком инициирующей волны, входящей в ПСТ. Из приведенных рассуждений следует важность геометрических факторов. В частности, с ростом отношения  $d/H_a$  условия появления периферийного очага более благоприятны, а при значительном уменьшении указанной величины он может и не возникнуть.

Определенным указанием на возможность существования описанного режима является несферическая форма некоторых индикаторных пластин, обнаруженных после серии подобных экспериментов с ПСТ. Такие пластины толщиной 3 мм, выполненные из алюминия, обычно устанавливают вплотную к торцу ПСТ. Измерение скорости их полета позволяет

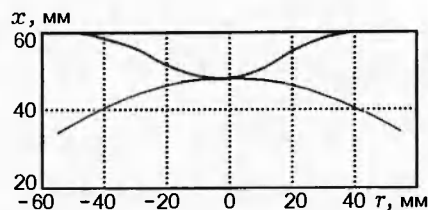


Рис. 3. Фронт детонации в ПСТ

получить информацию об уровне разложения ПСТ. Часть пластин имела углубление в центральной части (рис. 2), направленное в сторону ВВ, что согласуется с инициированием ПСТ от периферийного кольцеобразного очага при отставании детонации вдоль оси симметрии.

Для исследования геометрии инициирования ПСТ в системах рассматриваемого типа были проведены эксперименты, в которых с помощью фотохронографической методики регистрировали время выхода детонационной волны на свободный торец ПСТ. При сохранении значения  $H_a = 20$  мм диаметр экспериментальной сборки увеличили до 120 мм, чтобы в условиях, близких к критическим, упростить возбуждение детонации в периферийной области образца ПСТ. Подбором толщины оргстекла удалось создать такие условия инициирования, при которых было отчетливо зафиксировано развитие детонационного процесса в ПСТ от периферийного очага. При  $H_{\text{ПСТ}} = 60$  мм отставание фронта детонационной волны на оси симметрии заряда составило  $\Delta t \approx (2 \pm 0,15)$  мкс. Для наглядности по результатам эксперимента сделана оценка положения фронта детонации при подходе к торцу заряда ПСТ в предположении, что вблизи торца скорость волны равна 7,5 км/с. Полученная форма волны изображена на рис. 3, где она сравнивается с формой сферически расходящейся волны, которая могла бы образоваться при развитии детонации ПСТ от центрального очага. Таким образом, экспериментально подтверждено появление кольцеобразного очага разложения ВВ при критических по возбуждению детонации условиях.

В двумерном расчете инициирование и развитие детонационного процесса в ПСТ описаны с помощью модифицированной полуэмпирической модели макрокинетики [5]. В ней скорость химического разложения ВВ определяет

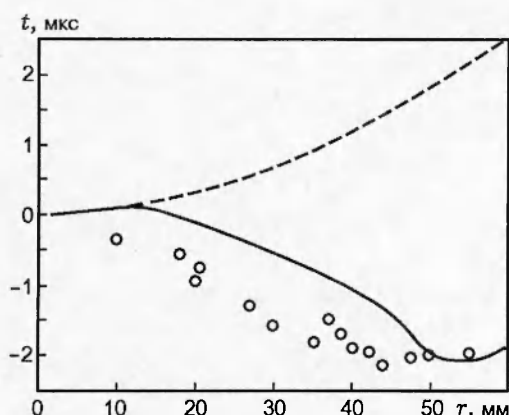


Рис. 4. Выход детонационной волны на торец ПСТ ( $H_{\text{ПСТ}} = 60$  мм):

сплошная линия — расчет с учетом кинетики, штриховая — сферический фронт, точки — эксперимент

ся по формуле

$$\frac{d\xi}{dt} = -\xi^{2/3} \rho_{\text{ВВ}}^{1/3} f(\sigma) \exp\left(-\frac{E_a}{3E_T}\right),$$

$$f(\sigma) = a\sigma + b \left[1 - \frac{1}{1 + \exp(c(\sigma - d))}\right].$$

Здесь  $\xi$ ,  $\rho_{\text{ВВ}}$  — массовая концентрация и плотность ВВ;  $E_a$  — энергия активации;  $E_T$  — удельная тепловая энергия ВВ;  $\sigma = p/p_{\text{СЖ}}$ ;  $p_{\text{СЖ}}$  — давление в точке Чепмена — Жуге;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  — константы. В области ПСТ применяли расчетную сетку с размерами ячейки  $0,6 \times 0,6$  мм. Используемые в расчетах уравнения состояния веществ приведены в [3].

Результаты расчета представлены на рис. 4, где в зависимости от расстояния до

центра указано время выхода детонационной волны на свободный торец образца ПСТ относительно центральной точки. Экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетом. Если бы фронт детонационной волны в ПСТ был сферическим, то наиболее ранним был бы выход волны в центре торца, что проиллюстрировано штриховой линией на рис. 4.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В. А., Болховитинов Л. Г. О форме фронта ускоряющейся преддетонационной волны // Физика горения и взрыва. 1969. Т. 5, № 4. С. 506–509.
2. Погребов А. И., Сдобнов В. И., Таржанов В. И. Особенности инициирования гетерогенных ВВ расходящейся детонацией тонкого донорного заряда // Физика горения и взрыва. 1987. Т. 23, № 1. С. 82–84.
3. Аминов Ю. А., Вершинин А. В., Еськов Н. С. и др. Исследование ударно-волновой чувствительности пластифицированного ВВ на основе ТАТБ // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 1. С. 103–108.
4. Anuchina N. N., Es'kov N. S., Volkov V. I. Numerical modeling of multi-dimensional flows with large deformation // Proc. Russian-U.S. Weapons Laboratories Introductory Technical Exchange in Computational and Computer Science. Livermore, USA, 1992.
5. Аминов Ю. А., Еськов Н. С., Рыкованов Г. Н. и др. Модифицированная модель макрокинетики детонации ВВ на основе ТАТБ // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 33, № 1. С. 94–97.

Поступила в редакцию 6/V 1998 г.,  
в окончательном варианте — 16/VII 1998 г.