

# РЕАКЦИЯ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ОКТОГЕНА НА НИЗКОСКОРОСТНОЕ НАГРУЖЕНИЕ СТАЛЬНЫМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ УДАРНИКОМ

А. В. Юрлов, В. А. Пушков, А. И. Абакумов, А. В. Кальманов, А. А. Седов, А. В. Родионов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

Задачи исследования взрывчатых превращений во взрывчатых веществах (ВВ) при различных условиях внешнего воздействия являются весьма актуальными. В ряду этих исследований низкоскоростное механическое воздействие ( $V_{уд} = 10-100$  м/с) занимает направление, отвечающее многим практическим случаям (нагрузки технологические, транспортировочные, аварийные, при диверсиях, и др.). Однако из-за сложности процесса взрывчатого превращения на сегодня нет полных данных об условиях его инициирования. Не существует и достаточно подтвержденных моделей физических процессов, приводящих к инициированию взрывчатых превращений при низкоскоростных воздействиях. Положение осложняется тем, при таких воздействиях, как правило, возникает низкоскоростное взрывчатое превращение, которое распространяется со скоростями в несколько раз меньше скорости нормальной детонационной волны и которое зависит от многих до конца не выясненных факторов.

Широко используемое модельное представление строится на выводе, что наиболее вероятным механизмом инициирования взрывчатых превращений является образование очагов реакции в результате диссипации энергии при пластической деформации в твердых ВВ со сдвиговыми деформациями, приводящее к образованию трещин и относительному скольжению материала ВВ по границе трещины [1].

Исследования взрывчатых превращений при низкоскоростном механическом воздействии активно проводятся во РФЯЦ-ВНИИЭФ с 70-годов прошлого века. Исследования проводились при воздействии на ВВ пули, сферического осколка [2], плоских

ударников, цилиндрического ударника с полусферическим торцом, стрелы Гопкинсона [3]. Получаемые результаты подвергаются численному моделированию с удовлетворительным согласием расчетных и экспериментальных данных, например [3].

В ряду различных низкоскоростных механических воздействий на ВВ кроме воздействия небольших осколков и плоских ударников возможно воздействие элементов в виде штыря или протяженного ударника.

В настоящем докладе представлены методика и некоторые результаты экспериментального исследования реакции полусферических образцов (наружный диаметр  $\sim 100$  мм) из флегматизированного октогена [4] на низкоскоростное механическое воздействие стального ударника при скорости удара  $V_{уд} = 55-75$  м/с. В опытах для регистрации процесса внедрения ударника в образец ВВ применялся радиоинтерферометр.

## 1. Постановка опытов

На рис. 1 показана схема постановки эксперимента.

С помощью энергии взрыва заряда специального ВВ снаряд-ударник разгоняется по стволу пушки (внутренний диаметр ствола 52 мм) и ударяет по полусферическому образцу по линии полюс полусферы – центр опорного кольца – центр отверстия трубы. Опорное кольцо закреплено на трубе-динамометре. Деформации образца и трубы регистрируются тензодатчиками. Тензодатчики на полусферическом образце располагались на внешней поверхности на расстоянии 30, 50 и 70 мм от полюса. Во время опыта с помощью электроконтактных датчиков, находящихся вблизи размещения образца ВВ, регистрировалась скорость ударника. Применялся стальной ударник

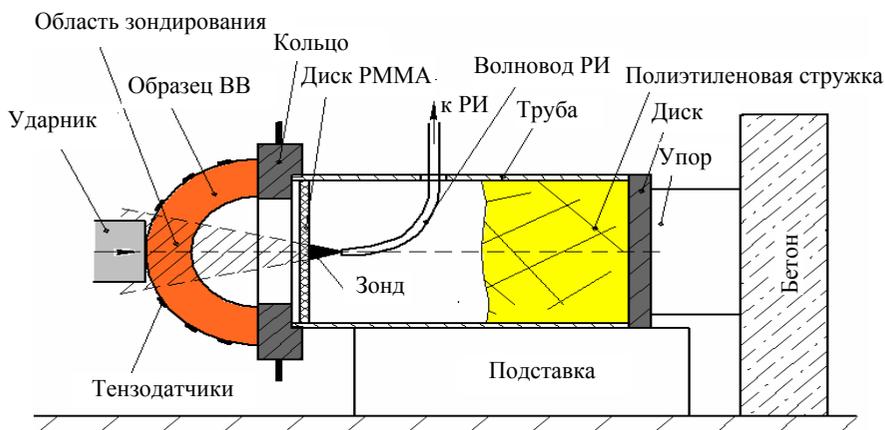


Рис. 1. Схема постановки опытов с использованием радиоинтерферометра  $\varnothing 52 \times 175$  мм. Усилие  $P(t)$ , действующее на полусферический образец, измерялось датчиками на опорной

## 2. Результаты экспериментов

трубе-динамометре. Во время опыта процесс полета ударника и его начальное внедрение в полусферический образец регистрировались с помощью радиоинтерферометра (РИ-03). Зонд РИ крепился в трубе-динамометре на глубине ~10 мм от торца трубы, где устанавливалось кольцо, и зондировал изнутри полусферы движение объектов с плотностью, отличающейся от плотности воздуха.

Радиоинтерферометр представляет собой приемопередающее устройство миллиметрового диапазона длин волн, передатчик которого выдает в линию передачи непрерывный немодулированный гармонический сигнал, а приемник выполняет квадратурное фазовое детектирование принятого из этой линии сигнала. Это означает, что приемник имеет два выхода, выходные сигналы на которых соответствуют уравнениям

$$U_1(t) = A(t) \cos \varphi(t); \quad U_2(t) = A(t) \sin \varphi(t),$$

где  $A(t)$  – амплитудный множитель, величина которого определяется мощностью сигнала, пришедшего на приемник, а  $\varphi(t)$  – фазовый сдвиг между переданным и принятым сигналами. Выделение параметров движения объекта выполняется двумя способами: фазо-временным (для восстановления закона движения ударника  $x(t)$  и  $V(t)$ ) и частотно-временным (для расшифровки интерферограммы с шумами).

Исходя из получаемых сигналов в указанных опытах с движущимися объектами с помощью радиоинтерферометра РИ-03 можно определять скорость ударника от начала его движения до соударения и некоторого внедрения в полусферу ВВ. Кроме этого можно регистрировать начало разлета полусферы на фрагменты или (в случае взрывчатого превращения) движение продуктов взрыва.

Опыты проведены при скоростях ударника 55, 61, 75 м/с. В опыте при 55 м/с не наблюдалось взрывчатого превращения, образец разрушился на фрагменты. В опытах при 61 и 75 м/с происходило взрывчатое превращение практически всего объема ВВ с образованием небольшого количества мелкой пыли и непрореагировавшего ВВ.

После обработки сигналов РИ одного из опытов при  $V_{уд} = 55$  м/с на рис. 2 приведена диаграмма движения ударника (до соударения с образцом ВВ) в координатах скорость-время. При этом скорость ударника перед соударением хорошо согласуется с величиной скорости, полученной по электроконтактной методике ( $V_{уд} \sim 53$  м/с).

На рис. 3 в координатах скорость объекта-время представлена расшифровка радиоинтерферограммы опыта при  $V_{уд} = 55$  м/с, а на рис. 4 – опыта при  $V_{уд} = 75$  м/с (где происходило взрывчатое превращение).

Из рис. 3 и 4 видно, что после соударения появляются два объекта движения. Первым объектом является ударник, скорость которого после удара немного снизилась. Вторым объектом на рис. 3, очевидно, является отколовшийся от внутренней поверхности полусферы фрагмент ВВ, который начал двигаться с большей, чем у ударника скоростью ( $V \sim 90$  м/с). Аналогичная картина наблюдалась и в опыте с идентичным по геометрии образцом, но из инертного состава, имеющего близкую к испытуемому ВВ прочность. Вторым же объектом на рис. 4, наиболее вероятно, являются продукты взрыва, которые за ~0,1 мс приобретают скорость ~700 м/с. Аналогичные данные были получены и в опыте

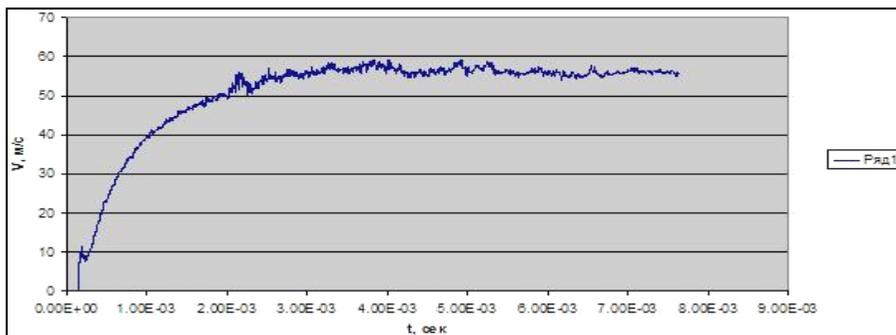


Рис. 2. Скоростная диаграмма движения ударника до соударения с образцом при  $V_{уд} = 55$  м/с (опыт без взрывчатого превращения)

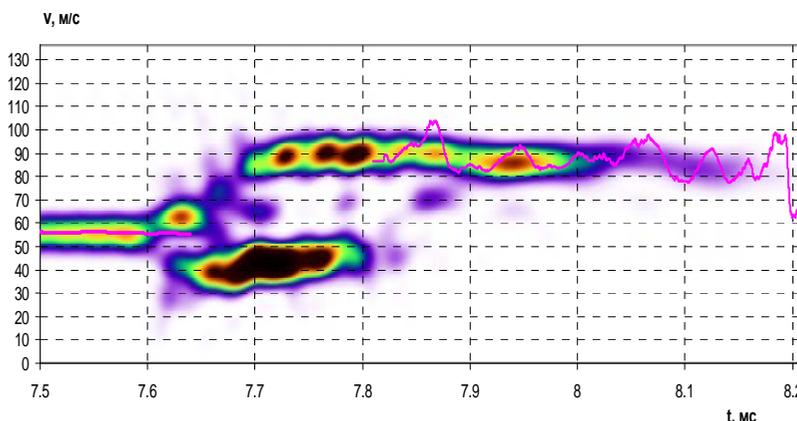


Рис. 3. Диаграмма: скорость движения объекта-время в опыте при  $V_{уд} = 55$  м/с (без взрывчатого превращения)

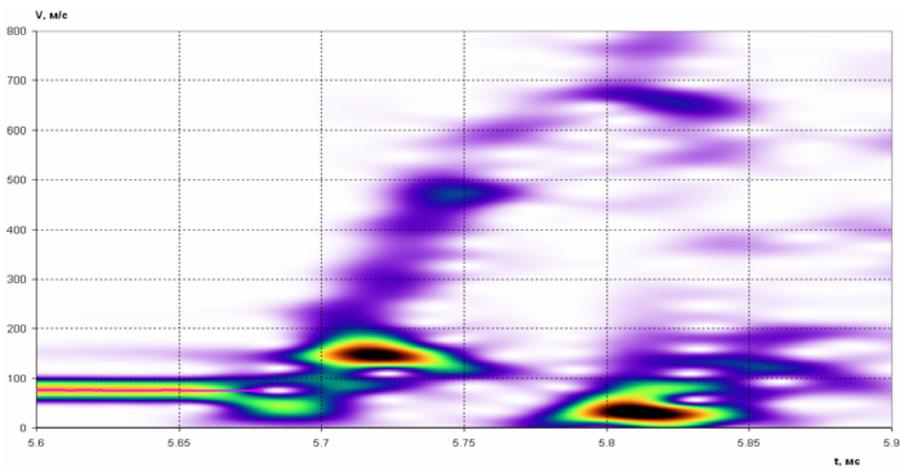


Рис. 4. Диаграмма: скорость движения объекта-время в опыте при  $V_{уд} = 75$  м/с (опыт со взрывчатым превращением)

при  $V_{уд} = 61$  м/с, где продукты взрыва также за  $\sim 0,1$  мс приобрели скорость  $\sim 600$  м/с.

Зарегистрированные тензодатчиками до разрушения или взрывчатого превращения ВВ величины деформаций на внешней поверхности полусферических образцов в опытах составляли 0,6–1,5 %. Величины усилий на трубе-динамометре  $P(t)$  составили от 40–50 кН в начале взрывчатого превращения до 150–160 кН в процессе развитого взрывчатого превращения. Невысокие значения усилий можно объяснить разгрузкой образующегося давления в воздух. Совместный анализ результатов по тензоизмерениям и радиоинтерферограмме показал, что к моменту возникновения взрывчатого превращения ударник в этих опытах внедрился в полусферу на глубину  $\sim 1,5$ –2 мм. При этом процесс взрывчатого превращения происходит с низкой скоростью, так как часть ВВ остается непрореагировавшим и поэтому присутствуют следы пыли и остатки на опорном кольце.

### Заключение

С применением радиоинтерферометра в вышеописанной постановке определены количественные данные условий начала возникновения взрывчатого превращения флегматизированного октогена и кинематики движения продуктов взрывчатого превращения. При  $V_{уд} = 61,0$ –75 м/с к началу превращения ударник внедрился в полусферу на глубину 1,5–2 мм. При этом образующиеся продукты взрыва за 0,1 мс приобретают скорость 600–700 м/с. В начале взрывчатого превращения усилие достигает всего 40–50 кН, а в процессе развитого взрывчатого превращения усилие увеличивается лишь до  $\sim 150$  кН, что связано с тем, что на фоне процесса разрушения ВВ и одновременного взрывчатого превращения преобладает разгрузка образующегося давления в воздух.

Во всех случаях взрывчатого превращения оставались непрореагировавшие остатки ВВ, что говорит о низкоскоростном характере превращения. Это подтверждает сложный характер возникновения взрыв-

чатого превращения в ВВ, которое требует своего дальнейшего исследования.

Представленные данные, полученные с помощью радиоинтерферометра и тензоизмерений, будут полезны при разработке расчетных моделей деформирования и инициирования взрывчатого превращения октогена. Это позволит моделировать поведение ВВ при воздействии различных нагрузок.

### Литература

1. Belov G. V., Gushanov A. R., Isheev D. M., Khvorostin V. N., Volodina N. A. Numerical simulation of experiments on the low-velocity impact on octogen-based HE using the explosive transformation initiation kinetics // Abstracts of 7<sup>th</sup> International Meeting on New Models and Hydrocodes for Shock Waves Processes in Condensed Matter. Estoril, Portugal. 2008. P. 37–38.
2. Белов Г. В., Базаров Ю. Б., Глушихин В. В., Дякин Е. П., Еременко А. С., Екимчев С. Н., Игошина С. Г., Костюков Е. Н., Шишканов А. В., Шустова Н. И. О влиянии предварительного механического повреждения образцов ВВ на параметры взрывчатого превращения и величину пороговой скорости инициирования детонации при ударе осколком // Труды IX Харитоновских чтений. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. С. 187–192.
3. Абакумов А. И., Большаков А. П., Васенин С. Н., Гушанов А. Р., Синицын В. А. Расчетно-экспериментальное исследование деформирования энергетических материалов в условиях низкоскоростного нагружения в опытах с составным стержнем Гопкинсона // Труды IX Харитоновских чтений. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2007. С. 215–226.
4. Родионов А. В., Бельский В. М., Богданов Е. Н., Михайлов А. Л., Комиссаров В. В., Седов А. А. Определение глубины возбуждения детонации радиоволновым методом в пластифицированных октогене и ТАТБ // Труды XI Харитоновских чтений. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2009. С. 69–73.