

НАБЛЮДЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В  
МАЛОПЛОТНЫХ ВВ С ПОМОЩЬЮ СИ

П.И.Зубков<sup>1</sup>, Г.Н.Кулипанов<sup>2</sup>, Л.А.Лужьянчиков<sup>1</sup>, Л.А.Мержиевский<sup>1</sup>,  
Э.Р.Прууэл<sup>1</sup>, К.А.Тен<sup>1</sup>, В.М.Титов<sup>1</sup>, Б.П.Толочко<sup>3</sup>, М.Г.Федотов<sup>2</sup>,  
М.Р.Шарфутдинов<sup>3</sup>, М.А.Шеромов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт гидродинамики им. М. А.Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

Несмотря на большое количество исследований, пионерскими среди которых, по-видимому, могут считаться [1,2], процесс инициирования детонации в пористых взрывчатых системах продолжает вызывать значительный теоретический и практический интерес. При этом особое внимание уделяется переходу горения в детонацию. К настоящему времени сложилось представление о двух типах перехода горения в детонацию [3]. В первом случае детонационная волна возникает перед фронтом видимого пламени, во втором возникновению детонации предшествует появление в горячей среде позади фронта пламени вторичной волны. Развитие детонации происходит после того, как вторичная волна догонит первичную волну реакции. Вместе с тем, отсутствует полная ясность в механизмах перехода горения в детонацию, в особенности, если процесс развивается за микросекунды и в оболочках малой прочности. Это связано, в том числе, и с несовершенством экспериментальных методик, применяемых для исследования подобных процессов. Появление новой методики диагностики детонационных процессов с помощью синхротронного излучения (СИ) [4] позволяет надеяться на получение качественно новой информации, которая может позволить продвинуться в понимании физических механизмов явления.

В данной работе синхротронное излучение используется для изучения перехода горения в детонацию в малоплотном тэне на основе исследования эволюции плотности в пространстве и времени.

Схема постановки экспериментов

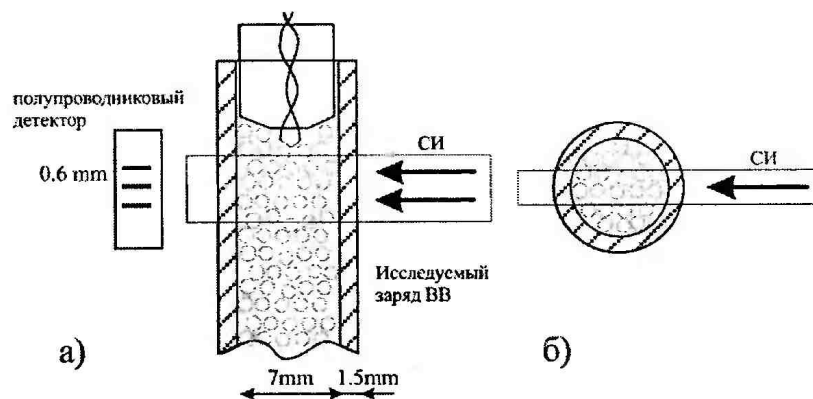


Рисунок 1. Схема экспериментов

Схема постановки экспериментов показана на рис.1, а – вид сбоку, б – вид сверху. Исследование проводилось на зарядах, состоявших из себя плексигласовой трубки, заполненной тэном насыпной плотности. В опытах измерялась интенсивность СИ, прошедшего через центральную часть заряда (рис.1). Пучок был ориентирован перпендикулярно оси заряда. Размеры трубки: внутренний диаметр 7 мм, толщиной стенки 1,5 мм. Плотность взрывчатого вещества (ВВ) 1 г/см<sup>3</sup>, размер частиц  $300 < d < 400$  мкм. Такой размер частиц, как показали выполненные ранее исследования [5], обеспечивает относительно длительный переходный период, что обеспечивает возможность детального рассмотрения особенностей процесса. Характеристики пучка СИ: энергия 4—100 кэВ, угловая расходимость  $10^3$ – $10^4$  радиан, апертура пучка 2×2 мм. Для регистрации излучения использовался полупроводниковый трехканальный кремниевый детектор. Расстояние между каналами 0,6 мм, ширина канала (стрипа), определяющая пространственное разрешение вдоль заряда, 0,1 мм, высота 2 мм, время между экспозициями 0.25 мкс, время одной экспозиции  $10^{-9}$  с. Более подробные сведения о параметрах пучка и возможностях измерительной системы приведены в [4]. Горение возбуждалось

электрическим взрывом проводника – медной проволоочки диаметром 100 мкм при разряде источника с напряжением  $10^3$  вольт.

Фоторазвертка процесса приведена на рис.2. Для сравнения на рис.3 показана фоторазвертка аналогичного процесса при поджигании ВВ потоком продуктов пересжатой газовой детонации [5]. Очевидна полная качественная идентичность процессов.

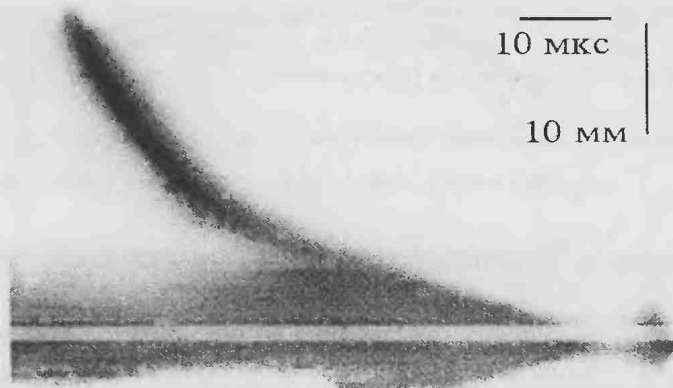


Рисунок 2. Иницирование взрывом проволоочки

Это позволяет в дальнейшем проводить качественное сравнение измерений, в том числе – измерений массовой скорости (показаны на рис.3), сделанных [5], с данными, получаемыми с помощью СИ.

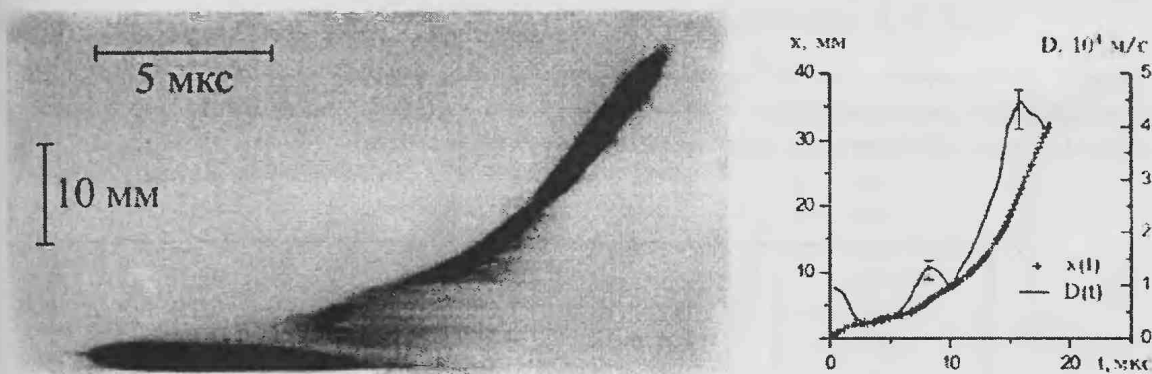


Рисунок 3. Иницирование газовым потоком пересжатой детонации. Фоторазвертка и ее обработка в виде графиков координаты и скорости фронта

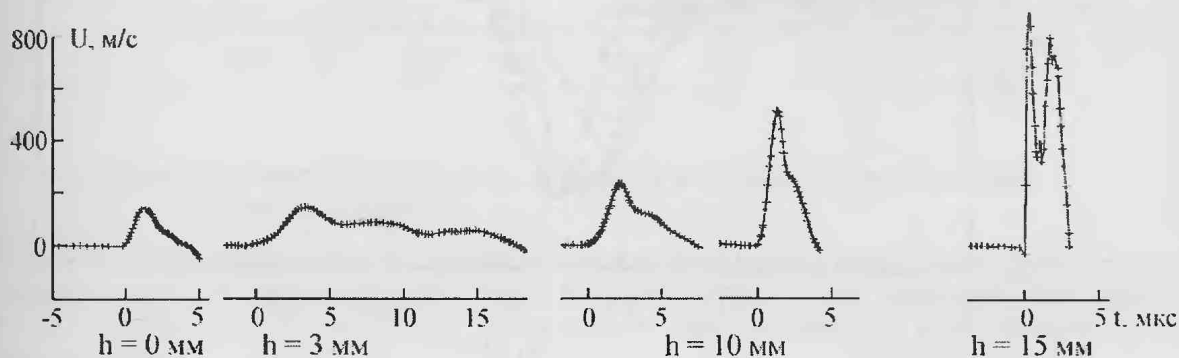


Рисунок 4. Профили массовой скорости при иницировании газовым потоком пересжатой детонации

Восстановление плотности по измеренному сигналу

Интегральная интенсивность всего спектра прошедшего прямого излучения может сложным образом зависеть от свойств и количества просвеченного вещества. На это дополнительно накладывается спектральная чувствительность применяемого полупроводникового детектора и пропускная способность окон на пути пучка. Все это затрудняет, а при использовании только самых общих предположений, делает и невозможным аналитическое восстановление количества просвеченного вещества по показаниям детектора рентгеновского излучения. Не менее сложным является решение такой задачи с помощью численных методов. Естественным альтернативным решением проблемы восстановления плотности является построение калибровочной зависимости: показания детектора от количества просвеченного вещества, что и было выбрано для обработки экспериментов.

Для упрощения искомая тарировочная зависимость аппроксимировалась соотношением с одним неизвестным параметром  $\alpha$ ,  $I = I_0 \exp(-\alpha\varphi)$ , где  $I$  и  $I_0$  - показания детектора на луче с образцом и без

него соответственно,  $\alpha$  - параметр, характеризующий ослабление излучения веществом,  $\varphi = \int_{l_1}^{l_2} \rho(x) dx$  -

количество просвеченного вещества, где интеграл берется по области пересечения прямой следования луча и образца,  $\rho(x)$  - зависимость плотности вдоль пути луча. Применение более сложной зависимости даст возможность повышения точности методики и будет осуществляться в дальнейшем при более детальном анализе получаемых результатов.

Приняв приближение о постоянстве плотности по сечению исследуемого заряда и неизменности его диаметра, получим простое соотношение  $\varphi = \rho d$ , где  $\rho$  и  $d$  плотность и диаметр заряда соответственно. Сделанные приближения позволяют получить простое соотношение для восстановления уплотнения в исследуемом заряде.

$\Delta\rho = \frac{-\ln(I/I')}{d\alpha}$ , где  $I'$  и  $I$  показания детектора излучения прошедшего через заряд до и во время опыта соответственно.

Пример использования вышеописанного соотношения можно видеть на рисунках 5 и 6 в виде исходной осциллограммы показаний детектора и восстановленной по ней плотности.

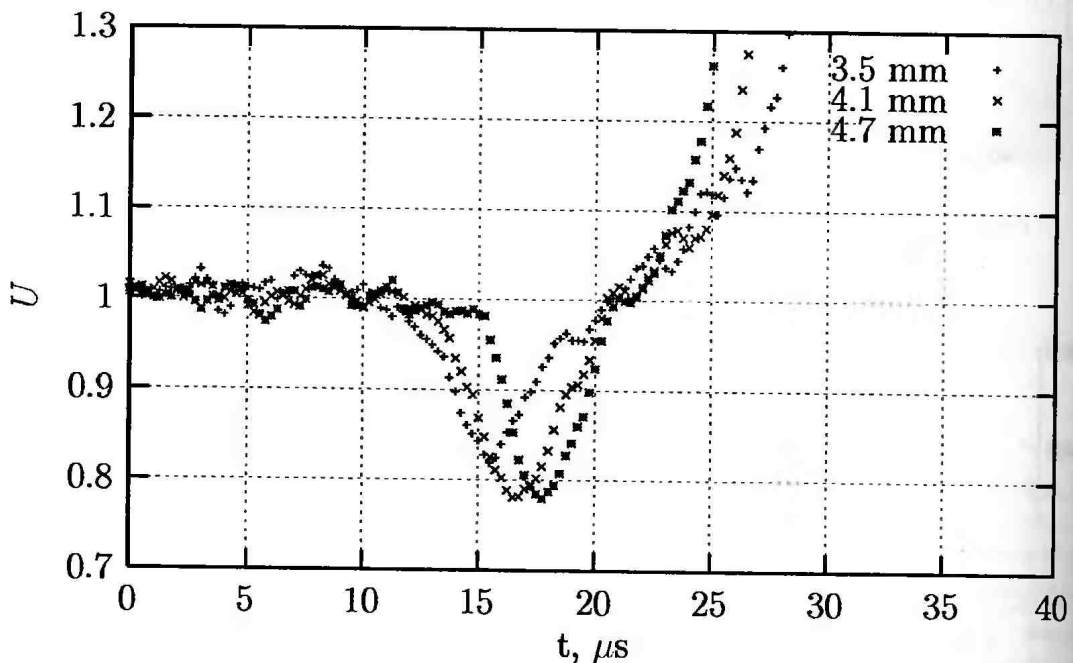


Рисунок 5. Интенсивность прошедшего излучения на трех расстояниях от места инициирования

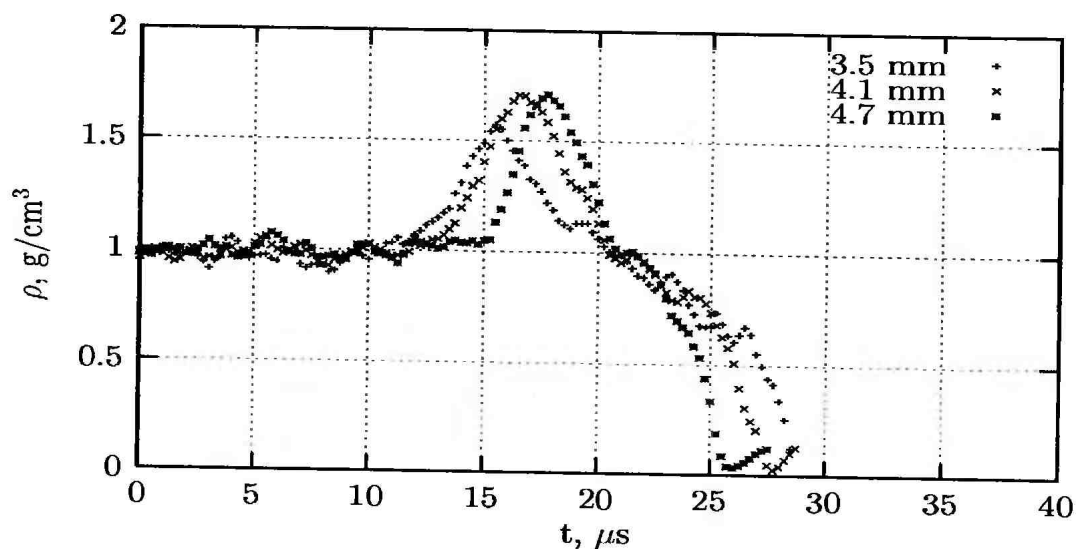


Рисунок 6. Плотность, восстановленная по данным, представленным на рис. 5.

#### Зависимости плотности от времени

Особенности проведения опытов не позволяли проводить измерения во многих точках одновременно и тем самым восстанавливать полную картину динамики плотности в пространстве и во времени. Но, проведя серию однотипных экспериментов и используя данные фоторегистрации (рис.2), удалось приближенно восстановить динамику профиля плотности при инициировании. Этот результат представлен на рисунке 7, в виде зависимостей плотности от времени на разном расстоянии от места инициирования.

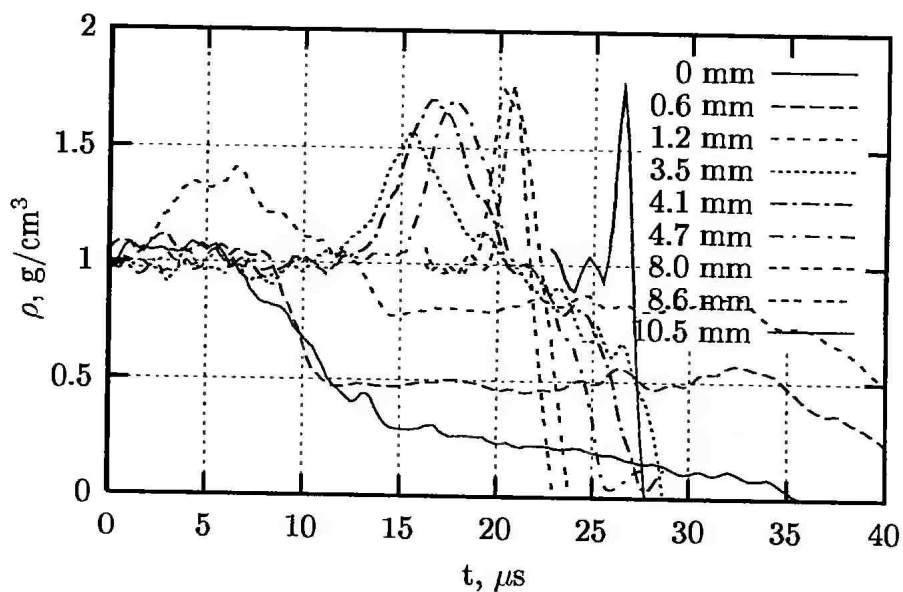


Рисунок 7. Зависимости плотности от времени на разном расстоянии от места инициирования

На этом рисунке хорошо видно, что в первые моменты волна сжатия имеет довольно размытый фронт, время нарастания до 3 мкс, с продвижением от места инициирования время нарастания уменьшается и на больших расстояниях профиль плотности соответствует представлению о распределении плотности в детонационной волне.

Следует обратить внимание, что при восстановлении плотности, предполагалась одномерность течения за фронтом и отсутствие радиального разлета, это оправдано для фронтов нарастания плотности, но простые оценки показывают, что фронт спада в большой степени определяется радиальным разлетом продуктов детонации. Также не принималось во внимание изменение потока, связанное с процессами в корпусе заряда. Предполагается учесть эти погрешности в дальнейших исследованиях, применяя новые постановки и более информативные методики измерения прошедшего излучения.

## Список литературы

1. А. Ф. Беляев, В. К. Боболев. Переход горения конденсированных сред во взрыв // М.: Наука. 1973. 290 с.
2. А. Н. Дремин, С. Д. Савров, В. С. Трофимов, К. К. Шведов. Детонационные волны в конденсированных средах // М.: Наука. 1970, 164 с.
3. Б. С. Ермолаев, А. А. Сулимов, В. А. Окунев, В. Е. Храповский. О механизме перехода горения взрывчатых веществ в детонацию // Физика горения и взрыва, 1988, Т. 24, № 1, с. 65—68.
4. А. Н. Алешаев, П. И. Зубков, Г. Н. Кулипанов и др. Применение синхротронного излучения для исследования детонационных и ударно-волновых процессов // Физика горения и взрыва. 1988 Т. 37, № 5. с. 104—113.
5. Э. Р. Прууэл, В. В. Григорьев, Л. А. Лукьянчиков, А. А. Васильев. Инициирование пористого взрывчатого вещества продуктами пересжатой газовой детонации // Физика горения и взрыва. 2001. Т. 37. № 5. с. 90—97.

**РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ  
НАГРЕВА НА УДАРНО-ВОЛНОВУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ  
ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ТАТБ**

*В.А. Комрачков, И.И.Карпенко, А.Д. Ковтун, Н.В.Коренева, Ю.М. Макаров, В.Г.Морозов  
РФЯЦ-ВНИИЭФ, г.Саров, Россия*

Большой научный и практический интерес представляет процесс инициирования детонации во взрывчатых веществах (ВВ).

Исход ударно-волнового нагружения ВВ - формирование детонационной волны или затухание процесса - зависит от характеристик ВВ, параметров нагружающего импульса и условий инициирования, одним из которых является температура ВВ. Отмечается увеличение ударно-волновой чувствительности ВВ при повышении температуры. Влияние температуры различно на жидкие и твердые ВВ вследствие того, что жидкие ВВ гомогенны, а твердые (литые, прессованные) – гетерогенны. Для гетерогенных ВВ существенны процессы, протекающие на неоднородностях структуры непосредственно за ударным фронтом [1,2,3].

Температура ВВ повышается за счет первоначального нагрева, за счет ударно-волнового сжатия и за счет химической реакции. При достаточном ударном разогреве ВВ начинается химическое разложение в локальных точках. Полного понимания процесса преобразования локальных очагов разогрева в стационарный самоподдерживающийся детонационный процесс нет. Очевидно, что температура образца ВВ, достигнутая в результате его ударно-волнового нагружения, характеризует возможность начала химического разложения и в значительной мере определяет кинетику химических реакций. Оказывается, что выдержка ВВ при повышенных температурах, а также его начальная температура,  $T_0$ , влияют на процесс формирования детонации взрывчатого вещества и на его ударно-волновую чувствительность [1,4,5].

Энерговыделение от химической реакции, начавшейся на локальных неоднородностях – местах концентрации энергии, определяет критические параметры инициирования и пространственно-временную картину течения за фронтом инициирующей ударной волны [1]. Экспериментальных данных о влиянии повышенных температур на ударно-волновую чувствительность и на процесс формирования детонации очень мало, иногда они противоречивы [1,7]. Так в литературе встречается суждение о не зависимости перехода инициирующей ударной волны (ИУВ) в детонационную от начальной температуры для гетерогенных ВВ [7]. Однако эксперименты на литом тротиле, выполненные при различной начальной температуре, свидетельствуют о явной зависимости инициирующего давления  $P_{и}$  от начальной температуры [8].

Большой практический и теоретический интерес представляет собой процесс ударно-волнового нагружения ВВ на основе триаминотринитробензола (пластифицированный ТАТБ). ТАТБ обладает очень низкой чувствительностью к тепловым и ударно-волновым воздействиям, поэтому исследованиям влияния различных параметров, в частности температуры, на изменение ударно-волновой чувствительности и на процесс формирования в ТАТБ детонационной волны в настоящее время уделяется большое внимание [4. 5. 6].

В экспериментах используются самые разные методики: электроконтактная, манганинового датчика, электромагнитная, оптические и др. Метод импульсной рентгенографии [9,10] дает возможность визуализировать рентгенографируемые процессы. Из-за отсутствия измерительных устройств, датчиков или разного рода приемников, размещаемых в нагружаемом ВВ, не вносятся искажения в потоки вещества за фронтами УВ и ДВ.

Цели работы: методом импульсной рентгенографии зарегистрировать различия в исходе нагружения - формирование ДВ или УВ – в образцах пластифицированного ТАТБ, подвергавшихся и не подвергавшихся температурной выдержке после изготовления; при различной начальной температуре образцов; применить

лаборатория физики взрыва

230к

**ВЕЩЕСТВА, МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ  
ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
V ХАРИТОНОВСКИЕ  
ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ**

**САРОВ**

**17-21 марта 2003г.**

**под редакцией  
доктора технических наук  
А.Л.Михайлова**

**САРОВ•ВНИИЭФ**

**2003 г.**