



03716035

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
 НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ  
 НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ ПЛАЗМЫ  
 ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР  
 ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ  
 КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ  
 ВЕЩЕСТВА — 2007

Черноголовка — 2007



Е-2007  
1102

УДК:536.20

# Физика экстремальных состояний вещества — 2007

Под редакцией Фортова В. Е., Ефремова В. П., Хищенко К. В., Султанова В. Г., Левашова П. Р., Темрокова А. И., Карамурзова В. С., Канеля Г. И., Минцева В. Б., Савицеева А. П.

Сборник посвящен исследованиям в области физики высоких плотностей энергии и теплофизики экстремальных состояний. Рассматриваются процессы взаимодействия мощных ионных и электронных пучков, интенсивного лазерного, рентгеновского и СВЧ излучения с веществом, электрический взрыв проводников мощными импульсами тока, методы генерации интенсивных импульсных потоков энергии, экспериментальные методы диагностики быстропротекающих процессов, физика ударных и детонационных волн, различные модели и результаты теоретических расчетов уравнений состояния вещества в экстремальных условиях при высоких давлениях и температурах, физика низкотемпературной плазмы, проблемы управляемого термоядерного синтеза и традиционной энергетики, а также различные технологические аспекты. Основная часть работ была представлена на XXII Международной конференции «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество» (Эльбрус, 1-6 марта 2007 г.). Издание адресовано специалистам в области физико-технических проблем энергетики.

✓

18462-2007

ГПНТБ СО РАН  
Гос. публ. Науч.-тех.  
библиотека

Сверено  
2018 г.

18462-2007

ISBN 5-901675-59-2

© Институт проблем химической физики Российской академии наук,  
Черноголовка, 2007

*[Handwritten signature]*



ке  $1024 \times 256$  ячеек. На рис. 3 показано распределение плотности в различные моменты времени. Прямоугольниками обозначены границы сеток 1-го и 2-го уровней измельчения. Видно, что сетки эволюционируют по мере интегрирования уравнений газодинамики, причём мелкие сетки концентрируются вблизи ударных волн и больших градиентов параметров.

Также был сделан расчёт той же задачи на равномерной эквивалентной сетке, то есть на сетке, пространственное разрешение которой было одинаково во всей области задачи, не менялось во времени и соответствовало разрешению мельчайшего уровня при расчёте с AMR. На рис. 4 изображён график, отражающий скорость счёта, для двух описанных случаев. Таким образом, в данной задаче при выбранном времени счёта при помощи AMR удалось достичь ускорения счёта в 4 раза. Таблица 2 показывает выигрыш AMR по

таким параметрам как максимальный задействованный при счёте объём оперативной памяти и объём памяти, необходимый для хранения данных в определённый момент времени.

Таким образом, в данной работе показана эффективность применения алгоритма адаптивного измельчения сеток для двух типов задач с сильно неоднородным и/или разрывным распределением параметров.

1. Berger M., Olinger J. // J. Comput. Phys. 1984. V. 53. P. 484.
2. Colella P., Graves D.T., et al. Chombo Software Package for AMR Applications Design Document // Applied Numerical Algorithms Group, NERSC Division, and Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA. September 12, 2003.
3. Федоренко Р.П. // ЖВМиМФ. 1961. Т.1 №1. С. 922.

## ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИКИ МАЛО-УГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ У ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ДОБАВКАМИ НАНОАЛМАЗОВ

Тен К.А.<sup>1</sup>, Титов В.М.<sup>1</sup>, Толочко Б.П.<sup>2</sup>, Жогин И.Л.<sup>2</sup>, Лукьянчиков Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИГиЛ СО РАН, <sup>2</sup>ИХТТМ СО РАН, Новосибирск

\*ten@hydro.nsc.ru

**Абстракт.** В режиме *in situ* экспериментально исследовалось образование наноалмазов во время детонации состава TNT/RDX 50/50 методом мало-углового рентгеновского рассеяния с использованием синхротронного излучения ускорителя ВЭПП-3. Применена новая экспериментальная постановка с введенными во взрывчатое вещество наноалмазами. Показано, что наноалмазы начинают расти за зоной химической реакции.

**Введение.** Хотя синтезу наноалмазов при взрыве посвящено весьма большое число работ [1] вопрос об образовании их, а также более общий вопрос о конденсации углерода при детонации ВВ с отрицательным кислородным балансом, остаётся дискуссионным до настоящего времени. Ответ на него важен как для понимания физики явления, так и для оценки количества энергии, которая выделяется при экзотермической коагуляции углеродных кластеров.

Одна из первых работ в этой области, выполненная как раз с точки зрения такого энергетического подхода, была опубликована в 1987 г [2]. В ней расчётным путём была показана возможность суммарной добавки примерно в 10% к той энергии, которая выделяется при собственно детонационном процессе.

В 1988 г. были опубликованы первые результаты об образовании при взрыве детонационных наноалмазов. В работе [3] было высказано предположение, что процесс синтеза определяется в основном, зоной химической реакции. Это утверждение базировалось на неизменности распределения частиц наноалмазов по размерам (в очищенных сохранных продуктах взрыва) при

разных масштабах увеличения размеров зарядов. Очевидно, что при этом неизменными остаются только процессы в зоне химической реакции. Соответственно, и время синтеза было оценено в несколько десятых микросекунды (не более 0,1 мкс) [3]. Чтобы согласовать расчётные и экспериментальные данные, в [4] авторы ввели в модель [2] априорное ограничение на рост размера частиц. При этом время роста хорошо согласуется с предложенной в [3] оценкой времени синтеза.

Опубликованные в 1999 г результаты по сравнению расчётных и экспериментальных данных по ускорению очень тонких металлических пластинок продуктами детонации (ПД) ВВ с отрицательным кислородным балансом показали, что такой процесс точнее описывается в предположении о наличии конденсации углерода за зоной химической реакции, или, как принято в теории детонации — за плоскостью Чапмена – Жуге, которая отделяет зону реакции от газодинамического течения ПД [5].

В первых же экспериментах по применению синхротронного излучения (СИ) для диагностики детонационных процессов был установлен фазовый относительно медленного роста сигнала при малоугловом рассеянии СИ (SAXS) — в течении 1,5 мкс при диаметре зарядов 10–15 мм [6]. На этом основании было предложено, что образование частиц углерода (в том числе и наноалмазов) происходит за пределами зоны химической реакции (в данном случае протяженность ее порядка 0,7 мм). Этот вывод вызвал ряд критических замечаний [7], которые сводятся к следующему. В методе SAXS интенсивность рассеянного сигнала в первом приближении пропорциональна квадрату



ту разности плотностей рассеивающей частицы и окружающей среды (продуктов детонации – ПД). При плотности ПД в начальный момент порядка  $2 \text{ г/см}^3$  сигнал может быть не заметен для детектора, и только при разлете ПД, т.е. уменьшении плотности, станет регистрируемым. Этим же может объясняться и тенденция к увеличению зоны запаздывания максимума сигнала с ростом диаметра заряда [8], так как разлет ПД займет в этом случае большее время.

Следует упомянуть также о работах [9, 10], в которых авторы определяют возможное место синтеза наноалмазов на ( $P$ - $T$ )-диаграмме углерода с учетом размера наночастиц.

Изложенные результаты малой доли работ по синтезу наноалмазов показывают наличие различных точек зрения на процесс. Цель данной работы — экспериментальная регистрация начала появления наноалмазов при детонации зарядов из тротила и гексогена методом малоуглового рассеяния (МУРР) синхротронного излучения.

Введение взрывных (полученных при детонации ВВ) наноалмазов в заряды TNT и RDX позволяет моделировать случай «мгновенного» появления наноалмазов при детонации ВВ.

**Постановка экспериментов** по измерению МУРР приведена в работах [6, 8]. Использовалось синхротронное излучение из вилгера с полем 2 Т накопителя электронов ВЭПП-3 (ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН). Жесткость излучения около 20 кэВ, частота импульсов 4 МГц, длительность экспозиции 1 нс, пространственное разрешение детектора излучения 0,1 мм. Электронная схема детектора позволяет запоминать 32 кадра спектра рассеяния, сделанные через 500, 250 или 125 нс. В последнем случае на орбите накопителя ускоряются два сгустка электронов (банча), находящиеся в диаметрально противоположных точках орбиты.

Исследовались составы TNT/RDX 50/50, TNT + 8% UDD, RDX + 8% UDD (по массе). Все ВВ перед прессованием были перекристаллизованы, диаметр зарядов был равен 15 мм, длина  $\approx$  80 мм. Инициирование осуществлялось генератором плоской волны. Первый состав является одним из основных при производстве наноалмазов; TNT дает при детонации существенно меньше наноалмазов, но большое количество углеродного остатка в виде графита; RDX – более мощное ВВ, имеет нулевой кислородный баланс, твердого остатка не дает. Добавка в 8% наноалмаза (производства НПО Алтай) при прессовке примерно соответствует тому количеству, которое возникает при взрыве TNT/RDX 50/50.

**Результаты** представлены на рис. 1. Нулевая точка по времени — момент прихода детонационной волны на плоскость пучка СИ. Уменьшение сигнала в этот момент на кривых 1, 3 соответствует возрастанию плотности ВВ на фронте детонационной волны.

Для более мощного RDX значительная часть

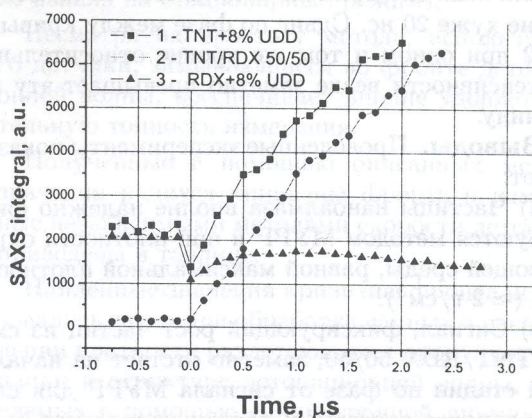


Рис. 1. Зависимость интегрального МУРР от времени при детонации зарядов из TNT и RDX с добавками ультра дисперсных алмазов.

наноалмазов при этом разрушается, и происходит спадание величины сигнала. Для TNT величина сигнала восстанавливается и продолжается ее рост — за счет образования конденсированного углерода при взрыве ВВ, а также вследствие разлета продуктов детонации («эффект контрастности»). Начальный уровень сигнала у тротила и гексогена (кривые 1 и 3) соответствует введенным 8% наноалмазов.

В момент прохождения фронта детонации (нулевой момент по времени на графике) сигнал МУРР у них уменьшается пропорционально изменению «контрастности». Для гексогена уменьшение сигнала должно быть равно  $(\rho_A - \rho_0)^2 / (\rho_A - \rho_1)^2 = 1.89$ , где  $\rho_A = 3.5 \text{ г/см}^3$  — плотность наноалмазов,  $\rho_0 = 1.71 \text{ г/см}^3$  — начальная плотность гексогена, и  $\rho_1 = 2.2 \text{ г/см}^3$  — его максимальная плотность. Для тротила уменьшение сигнала равно  $(\rho_A - \rho_0)^2 / (\rho_A - \rho_1)^2 = 1.6$ , где  $\rho_0 = 1.69 \text{ г/см}^3$  и  $\rho_1 = 2.08 \text{ г/см}^3$  — соответствующие плотности для тротила.

Отметим четкую фиксацию введенных наноалмазов на фоне сжатого вещества во фронте детонации. Здесь же приведена кривая 2 для смеси TNT/RDX 50/50. Сигнал начинается с нулевой отметки и плавно растет, практически повторяя форму кривой 1, но с регистрируемым сдвигом по времени по отношению к ней. При образовании наноалмазов в зоне химической реакции ( $\tau \approx 0.1 \text{ мкс}$  [11]) кривая 2 должна была бы иметь такой же скачок, как на кривых 1, 3. Отсутствие скачка означает отсутствие значительного количества наноалмазов в этой зоне. Кривая МУРР при детонации гексогена с наноалмазами идет гораздо ниже, чем у тротила, несмотря на то, что разлет продуктов детонации у них примерно одинаков. Такое поведение МУРР означает разрушение наноалмазов в разлетающихся продуктах детонации гексогена. Причем «сгорание» происходит за зоной химической реакции. Благодаря специально принятым мерам, точность привязки данных



различных экспериментов к нулевой точке отсчета не хуже 20 нс. Сдвиг по фазе между кривыми 1, 2 при одном и том же уровне относительной интенсивности везде заметно превышает эту величину.

**Выводы.** Проведенные эксперименты показывают:

а) Частицы наноалмаза вполне надежно фиксируются методом МУРР и при плотности окружающей среды, равной максимальной плотности ВВ ( $\approx 2 \text{ г/см}^3$ ).

б) Сигнал, фиксирующий рост частиц из смеси TNT/RDX 50/50, заметно отстает на начальной стадии по фазе от сигнала МУРР для случая заранее введенных частиц наноалмаза (т.е., при «времени роста»  $\tau = 0$ ). То есть, конденсация наночастиц углерода в наноалмаз при детонации TNT/RDX 50/50 начинается за зоной химической реакции.

в) Введенные в ВВ наноалмазы разрушаются в течении длительного времени (микросекунды).

1. Detonation Nanodiamonds and Related Materials. St. Petersburg: Ioffe Physico-Technical Institute, 2003.
2. Shaw M.S., Jonson J.D. // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. № 5. P. 2080.
3. Титов В. М., Анисичкин В. Ф., Мальков И. Ю. ФГВ. 1989. Т. 25, № 3. С. 117.
4. Ершов А. П., Куперштох А. Л., Коломийчук В. Н. Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 3. С. 42.
5. Vieccelli J. A., Ree F. H. J. Appl. Phys. 1999. V. 86. № 1. P. 237.
6. Алешаев А. Н., Зубков П. И., Кулипанов Г. Н. и др. ФГВ. 2001. Т. 37. № 5. С. 104.
7. Ершов А. П. Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. Вып. 19. С. 90.
8. Titov V. M., Tolochko V. P., Ten K. A., et al. // Synthesis, Properties and Applications of Ultrananocrystalline Diamond. / Eds. Gruen D. M. et al. Netherlands: Springer, 2005. P. 169.
9. Vieccelli J. A., Ree F. H. J. Appl. Phys. 2000. V. 88. № 2. P. 683.
10. Даниленко В. В. ФГВ. 2005. Т. 41. № 4. С. 110.
11. Лобойко Б. Г., Любятинский С. Н. ФГВ. 2000. Т. 36. № 6. С. 45.

## ОБ ИЗМЕРЕНИИ КРИВИЗНЫ ФРОНТА ДЕТОНАЦИИ ДЛЯ УЧЕТА ПРИ ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛЕТАЮЩИХСЯ ПРОДУКТОВ

Пруцэл Э. Р.<sup>1</sup>, Мерзиевский Л. А.\*<sup>1</sup>, Лукьянчиков Л. А.<sup>1</sup>, Тен К. А.<sup>1</sup>, Вагин М. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИГиЛ СО РАН, <sup>2</sup>НГУ, Новосибирск

\*merzh@hydro.nsc.ru

Задача о разлете продуктов детонации рассматривалась неоднократно [1–3], но продолжает вызывать интерес. Это связано с тем, что такие данные дают информацию об изэнтропах продуктов, которые необходимы при построении уравнений состояния. Результаты исследования разлета с помощью СИ изложены в [4]. Важным моментом в интерпретации получаемых данных является учет кривизны фронта детонации, особенно в случае зарядов малого диаметра.

В классических моделях детонации (Чепмена-Жуге, Зельдовича-Неймана-Дёринга, их обобщениях) предполагается, что фронт детонационной волны, состоящей из ударной волны и зоны химической реакции, является плоским. С использованием этого предположения вычисляются параметры Чепмена-Жуге и, зачастую, рассчитывается дальнейший разлет продуктов. Вместе с тем, давно известно, что реально фронт детонации не является плоским, и кривизна фронта меняется с ростом диаметра заряда, достигая своего стационарного значения при превышении предельного диаметра [5]. Таким образом, определение кривизны фронта детонации необходимо как для интерпретации результатов экспериментов по исследованию процесса разлета, так и при определении параметров детонации.

Известно несколько способов измерения кривизны фронта, в том числе — с помощью рентгеновской съемки в перпендикулярном к направлению детонации направлении, скоростной фотосъемки выхода детонационной волны на то-

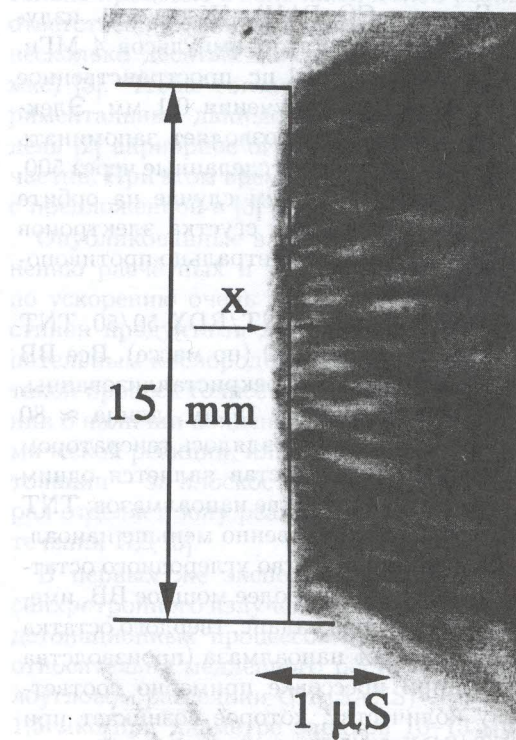


Рис. 1.

рец заряда, с помощью контактных датчиков. В данной работе были реализованы два последних метода.

Пример фоторегистрограммы выхода детонационной волны на торец заряда из прессованно-



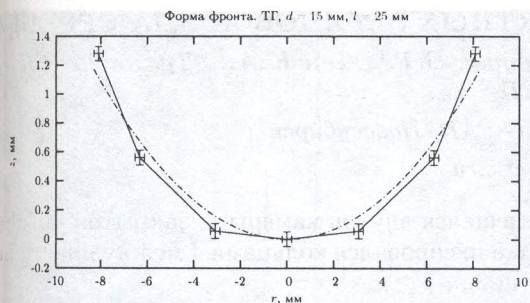


Рис. 2.

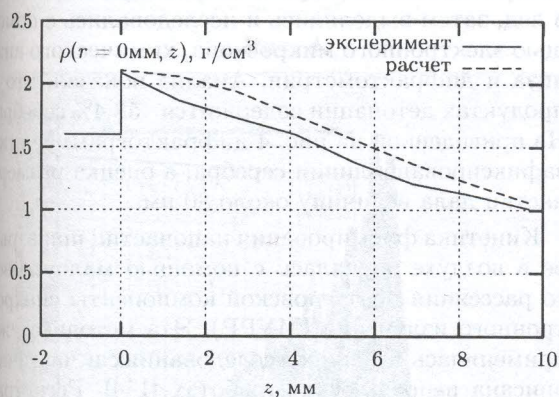


Рис. 3.

|                             | ТНТ  | Гекс  | ТГ<br>50/50 | ТГ<br>50/50 | ТГ 50/50   |
|-----------------------------|------|-------|-------------|-------------|------------|
| Диаметр заряда, мм          | 15   | 15    | 7           | 12.5        | 15         |
| Метод измерений             | СФР  | СФР   | СФР         | СФР         | контактный |
| Скорость детонации, км/с    | 6,95 | 8,3   | 7,55        | 7,65        | 7,65       |
| Радиус кривизны в диаметрах | 2,1d | 2,35d | 1,9 d       | 2,04d       | 1,6d       |

го тротила диаметром 15 мм и длиной, достаточной для установления стационарного режима, показан на рис. 1 (заряд прессованного тротила). Предполагая, что фронт детонации имеет полусферическую форму, несложно рассчитать радиус кривизны.

Во втором случае использовались контактные датчики, расположенные на торце цилиндрического заряда на оси и фиксированных расстояниях от центра, замыкавшиеся в момент прихода фронта детонационной волны. Возникающий при этом электрический сигнал подавался на вход осциллографа, что давало временные метки, позволяющие определить разность времени прихода фронта детонации в разные точки плоскости и определить форму фронта. Пример измеренной таким образом формы фронта показан на рис. 2 (заряд ТГ 50/50, заряд длиной 25 мм, детонация

не вышла на стационарный режим).

Несмотря на простоту метода, использующего датчики, замыкающиеся во фронте детонационной волны, обеспечивает вполне удовлетворительную точность измерения.

Полученные с помощью описанных методов значения радиуса кривизны фронта и измеренные независимыми методами скорости детонации приведены в таблице.

Найденные значения кривизны фронта использовались затем при обработке данных о распределении плотности разлетающихся продуктов детонации и структуре детонационной волны, получаемых с помощью синхротронной диагностики [4].

Значительную роль кривизны фронта детонации на распределение параметров продуктов детонации показали соответствующие расчеты. Решалась газодинамическая задача о разлете продуктов стационарной детонации, детальная постановка которой изложена в [4]. При этом результаты расчетов с плоским (рис. 3) и искривленным (рис. 4) фронтом сравнивались с экспериментальными данными. Как следует из рисунков, учет кривизны фронта детонации приводит к существенно более точному соответствию результатов расчетов и экспериментов.

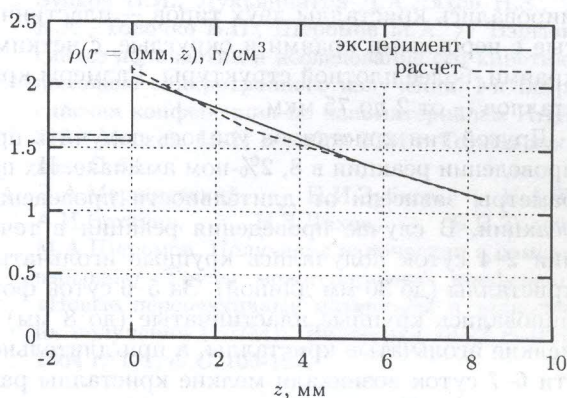


Рис. 4.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-02-17335, интеграционного проекта СО РАН № 23, и молодежного гранта СО РАН № 18.

1. Зельдович Я.Б., Компанец А.С. Теория детонации. М., ГИТТЛ, 1955.
2. Дремин А.Н., Савров С.Д., Трофимов В.С., Шведов К.К. Детонационные волны в конденсированных средах. М, Наука, 1970, 172 с.
3. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. Изд. 2. М., Наука, 1975.
4. Э.Р. Прууэл, Л.А. Мерзиевский, К.А. Тен, П.И. Зубков, Л.А. Лукьянчиков, Б.П. Толочко, А.Н. Козырев, В.В. Литвенко. Распределение плотности разлетающихся продуктов стационарной детонации тротила. ФГВ, 2007, № 3.
5. М.А. Cook. The science of high explosives. 1958, New York, 440 p.



# СИНТЕЗ СЕРЕБРА ПРИ ВЗРЫВЕ КОМПАКТНЫХ ЗАРЯДОВ АЗИДА СЕРЕБРА

Лукьянчиков Л.А.<sup>1</sup>, Мерзиевский Л.А.\*<sup>1</sup>, Прууэл Э.Р.<sup>1</sup>, Тен К.А.<sup>1</sup>, Тухтаев Р.К.<sup>2</sup>, Толочко Б.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИГиЛ СО РАН, <sup>2</sup>ИХТТМ СО РАН, Новосибирск

\*merzh@hydro.nsc.ru

Взрыв является одним из способов получения наночастиц, в том числе и металлических. В проведенных ранее исследованиях металлические наночастицы получались при детонации смеси взрывчатых веществ со стеаратами (карбоксилатами) [1–4]. В данной работе приводятся результаты исследования процесса синтеза наночастиц серебра при взрыве кристаллов азидов серебра. Осуществлялся взрыв в консервирующей среде как отдельных кристаллов различной конфигурации, так и компактных зарядов, состоящих из достаточно большого количества кристаллов.

Кристаллы азидов серебра были получены путем сливания 0,1М водных растворов солей при котором реализовывалась следующая реакция:



Анализ геометрических параметров полученных частиц под микроскопом показал, что формировались кристаллы двух типов — пластинчатые с неровными краями и округлые, с четкими краями, более плотной структуры. Размеры кристаллов — от 2 до 75 мкм.

Другой тип кристаллов удалось получить при проведении реакции в 8, 2%-ном аммиаке. Их параметры зависели от длительности проведения реакции. В случае проведения реакции в течение 2–4 суток получались крупные игольчатые кристаллы (до 30 мкм длиной). За 5–6 суток формировались крупные пластинчатые (до 8 мкм) и мелкие игольчатые кристаллы, а при длительности 6–7 суток возникали мелкие кристаллы разной формы. Полученные игольчатые кристаллы азидов серебра приведены на рис. 1, а пластинчатые на рис. 2. Во всех снимках кадр захватывает поле шириной 18 мм.

Схема экспериментов по синтезу наночастиц показана на рис. 3. Заряд азидов серебра 3, размещенный на марле, натянутой на кольцо из стали,

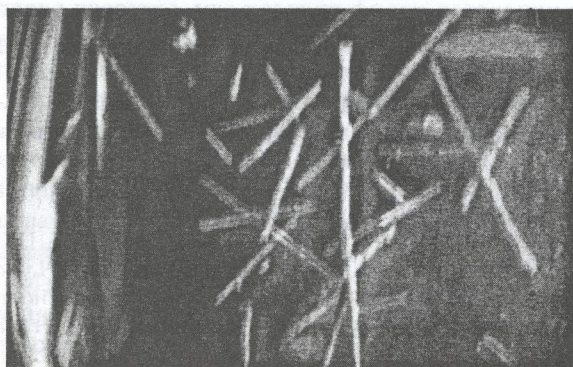


Рис. 1.

помещался внутрь камеры 5, закрытой крышкой 1, и фиксировался кольцами 4 между пластинами льда 2.

Заряд инициировался электрической дугой, возникающей при пережигании тонкого медного проводника. Продукты взрыва улавливались в лед, затем выделялись и исследовались с помощью электронного микроскопа, химического анализа и дифрактометрии. Анализ показал, что в продуктах детонации содержится 58,4% серебра. На приведенной на рис. 4 дифрактограмме четко зафиксированы линии серебра, а оценка размера частиц дала величину около 80 нм.

Кинетика формирования наночастиц при взрыве в воздухе изучалась с помощью малоуглового рассеяния рентгеновской компоненты синхротронного излучения (МУРР). Эта методика уже применялась в наших исследованиях и частично описана в предыдущих работах [1–4]. Регистрация динамики интенсивности рассеянного излучения дает возможность судить о качественных и количественных (например, временных) характеристиках процесса синтеза. Результаты измерений МУРР приведены на рис. 5. Здесь приведены пространственные распределения интенсивно-

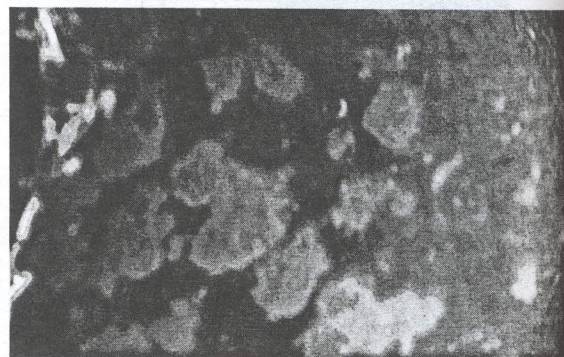


Рис. 2.

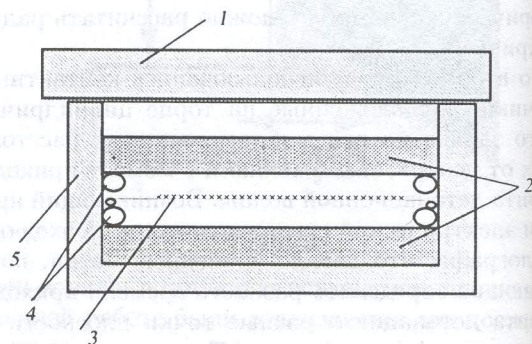


Рис. 3.



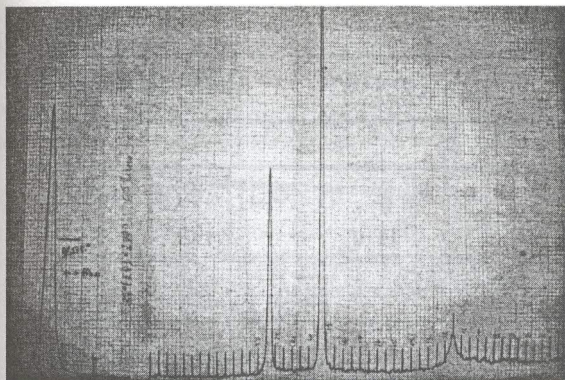


Рис. 4.

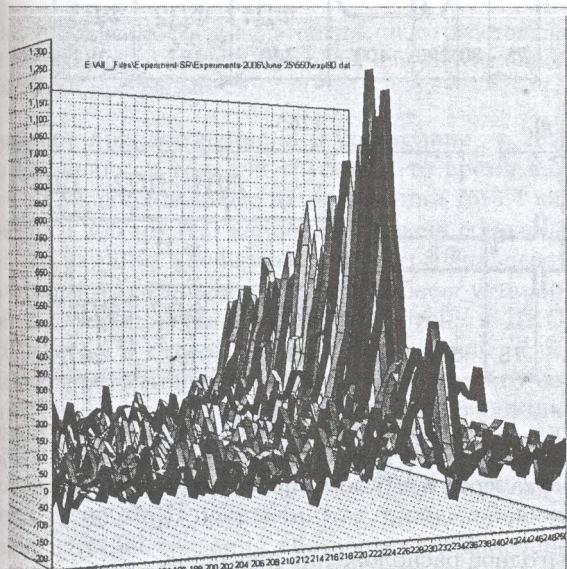


Рис. 5.

сти на различные моменты времени с интервалом 0,5 мкс между кадрами. Нарастание интенсивности МУРР свидетельствует о росте частиц серебра.

На основе полученных данных построено рас-

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ ДЕТОНАЦИИ В ЧАСТОТНОМ РЕЖИМЕ

*Решетняк Р.Б.\**, *Гилязова А.А.*, *Бакланов Д.И.*, *Володин В.В.*, *Голуб В.В.*

*ИТЭС ОИВТ РАН, Москва*

*\*temp84g@gmail.com*

Детонационный термодинамический цикл превышает по эффективности термодинамические циклы Брайтона и Хамфри, когда сгорание топлива происходит при постоянных давлении и объеме, соответственно. Во многих лабораториях мира ведутся исследования с целью создания пульсирующих детонационных устройств различного назначения. Из нерешенных проблем стоит отметить такие как: оптимальная форма детонационной камеры сгорания, влияние турбулентности потока смеси и дополнительных турбулизирующих элементов на формирование и параметры детонационной волны в камере сгорания, вы-

пределение частиц по размерам и исследована динамика изменения их размера. Оказалось, что размеры основного количества наночастиц заключены в узком диапазоне с максимумом около 80 нанометров. Это практически совпадает с приведенной выше оценкой.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума Российской академии наук «Фундаментальные проблемы физики и химии наноразмерных систем и наноматериалов», проект № 8.4.

1. А.И. Анчаров, Б.Б. Боханов, П.И. Зубков, А.М. Карташев, Л.А. Лукьянчиков, Н.З. Ляхов, Л.А. Мержиевский, В.Г. Свих, Н.Г. Скоробогатых, К.А. Тен, Б.П. Толочко, М.Р. Шарафутдинов, М.А. Шеромов. Синтез нанокристаллического серебра в детонационных волнах. // Труды III Всероссийской научно-технической конференции «Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы» (Третьи Ставеровские чтения). 2003 г. С. 64-65.
2. П.И. Зубков, П.И. Иванов, А.М. Карташев, Л.А. Лукьянчиков, Л.А. Мержиевский, В.Г. Свих, К.А. Тен, Б.П. Толочко. Получение наночастиц серебра в детонационных процессах. // Труды конференции «Физика экстремальных состояний вещества - 2003» Черногоровка. 2003. С. 97-98.
3. Мержиевский Л.А., Анчаров А.И., Боханов В.В., Зубков П.И., Лукьянчиков Л.А., Ляхов Н.З., Тен К.А., Толочко Б.П., Шеромов М.А. // Взрывной синтез наночастиц и исследование его кинетики с помощью синхротронного излучения. I-я Всероссийская конференции по наноматериалам НАНО-2004. Москва, 16-17 декабря 2004 г. Тезисы докладов. С. 63.
4. Л.А. Мержиевский, П.И. Зубков, К.А. Тен, А.И. Боханов, Н.З. Ляхов, Б.П. Толочко, М.А. Шеромов. Получение наночастиц с помощью взрыва. // Труды международной конференции «Новые перспективные материалы и технологии их получения (НПМ)» Волгоград 20-23 сентября 2004 г. Т. 1, с. С. 105-107.

бор наилучшего горючего, окислителя и т.п. Оценивая вышеуказанными характеристиками можно добиться необходимых параметров детонации и обеспечить эффективную работу детонационного устройства.

В данной работе исследуется:

1. Иницирование детонации в потоке смеси при пульсирующей бесклапанной подаче реагентов;
2. влияние геометрии детонационной камеры сгорания (ДКС) на преддетонационное расстояние, что важно для уменьшения габаритов и повышения надежности устройства;