

РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА. ДЕТОНАЦИЯ. УДАРНЫЕ ВОЛНЫ

ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
VII ХАРИТОНОВСКИЕ
ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ

14-18 марта 2005 г.

под редакцией
доктора технических наук
А.Л.Михайлова

РФЯЦ-ВНИИЭФ

САРОВ

2005

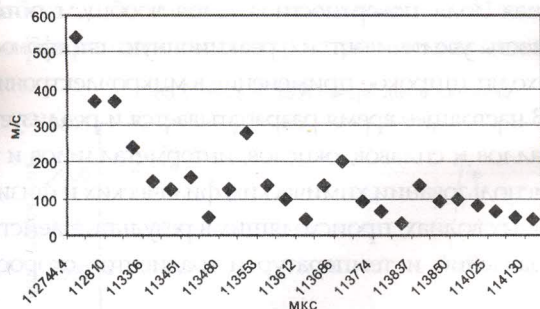


Рисунок 8.

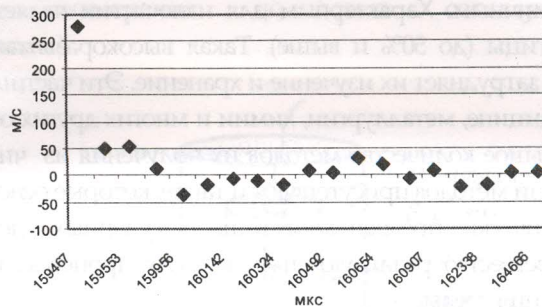


Рисунок 9.

Заключение. Показана возможность применения оптической диагностики, основанной на лазерных доплеровских измерительных технологиях и лазерной визуализации динамических полей плотности, для исследования кинематических и структурных параметров ударных волн и среды, возмущенной ударными волнами. Выявлено существование динамических структур в плоскости фронта ударной волны и измерена скорость их движения по волновому фронту. Сделано предположение о колебательной (акустической) природе таких структур.

Авторы выражают благодарность А.Л. Михайлову, Е.Е. Мешкову, и В.М. Титову за поддержку работы и полезные обсуждения. Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных исследований (проект № 05-02-16896) и Интеграционным проектом СО РАН (№ 28).

Список литературы

1. Дубнищев Ю.Н., Арбузов В.А., Белоусов П.П., Белоусов П.Я. Оптические методы исследования потоков. Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2003, 418 с.
2. L. Hous, T.T.Vtirjd, G.Jourdan. Overview of diagnostic methods used in shock-turbo investigations of mixing induced by Richtmuer-Meshkov instability // Shock Waves. 1999. No 9. p. 249-257.
3. Jacquin L., Cambon C., and Blin E. Turbulence Amplification by a Shock Wave and Rapid Distirson Theory // Phisics of Fluids. 1993. Vol. 5, No 10. p. 2539-2550.
4. Белоусов П.Я., Дубнищев Ю.Н., Пальчикова И.Г. Визуализация поля скорости потоков // Оптика и спектроскопия. 1982. т. 52, № 5. с. 876-879.
5. S.Barre, D.Alem, J.P.Bonnet. Experimental Study of a Normal Shock // Homogeneous Turbulence Interaction. AIAA Journal. 1996. v. 34, No 5. p. 968-974.

ВЗРЫВНОЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ

Л.А.Лукьянчиков¹, Л.А.Мержиевский¹, А.И.Анчаров², Б.Б.Бохонов²,
П.И.Зубков¹, Н.З.Ляхов², Э.Р.Прууэл¹, К.А.Тен¹, Б.П.Толочко², М.А.Шеромов³

¹Институт Гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт Химии Твердого тела и Механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

³Институт Ядерной Физики СО РАН, Новосибирск, Россия

Получение и практическое применение частиц нанометрового размера привлекает все возрастающий интерес в связи с их уникальными электрическими, магнитными, тепловыми, механическими и другими свойствами. Вместе с тем само понятие "наночастицы" остается неопределенным. Различные авторы относят к наночастицам частицы с размерами от единиц до десятков, или до сотен нанометров. По-видимому, более корректным является определять параметры наночастиц по резкому изменению их свойств при превышении некоторого размера. Ясно, что при этом конкретный диапазон размеров наночастиц для разных веществ будет

различным. Характерным для наночастиц является большая доля поверхностного слоя в общем объеме частицы (до 50% и выше). Такая высокоразвитая поверхность увеличивает их реакционную способность, что затрудняет их изучение и хранение. Эти частицы уже находят широкое применение в микроэлектронике, медицине, металлургии, химии и многих других областях. В настоящее время разрабатывается и реализуется большое количество методов их получения из чистых металлов и сплавов, окислов, интерметаллидов и т.д. Среди методов присутствуют и такие, которые основаны на использовании химических, физических и физико-химических превращениях веществ в ударных и детонационных волнах, происходящих в результате действия на вещество реализующихся в таких процессах высоких давлений и температур и градиентов скоростей течения среды.

Одной из сложнейших задач при получении наночастиц является создание таких методов, которые бы позволяли получать и хранить эти частицы с сохранением их уникальных свойств. Перспективным с этой точки зрения оказалось использование взрывных технологий. При создании метода взрывного синтеза мы исходили из известного факта, что стеараты металлов при нагревании могут разлагаться с выделением чистого металла. Так, например, при нагревании стеарата серебра восстанавливается серебро в виде микрочастиц.

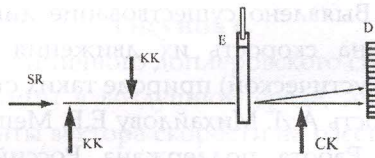


Рисунок 1.

SR- пучок излучения, KK- колиматор Кратки, E-образец, СК- нож, D- детектор

Для синтеза стеараты металлов смешивались с порошковым вторичным ВВ, смесь прессовалась, а затем подрывалась. В данной работе приводятся результаты экспериментов, в которых синтез происходит при детонации смеси ТЭНа со стеаратами ряда металлов.

85 % тэна + 15% стеарата серебра

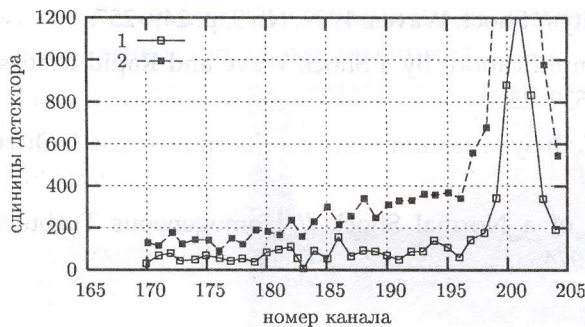


Рисунок 2.

85 % тэна + 15% стеарата серебра

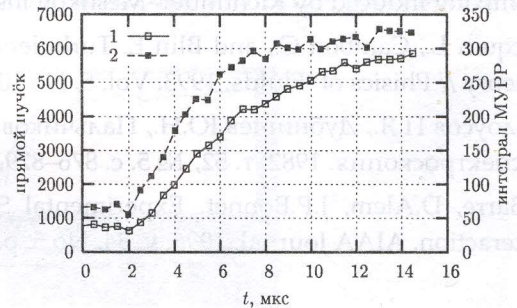


Рисунок 3.

Динамика роста наночастиц металлов исследовалась с помощью синхротронного излучения (СИ) на основе эффекта малоуглового рассеяния (МУРР). Эксперименты проводились на ускорительном комплексе ВЭПП-3 Института ядерной физики СО РАН. [1,2]. Схема регистрации МУРР представлена на рис. 1.

Регистрация интенсивности излучения (распределение по пространству) осуществлялась детектором DIMEX [3], имеющим 256 каналов (25,6 мм) с частотой 0,5 мкс.

На рис.2 приведены результаты измерений интенсивности проходящего и рассеянного излучения, полученные при детонации прессованного заряда тэна с добавлением 15% стеарата серебра (1 - до детонации, 2 - после). Канал 202 фиксирует изменение интенсивности проходящего луча, то есть изменение плотности. Каналы с меньшими номерами регистрируют интенсивность излучения, рассеянного на малые углы. С течением времени появляется и растет сигнал малоуглового рассеяния, что указывает на развитие флуктуаций электронной плотности, являющихся следствием возникновения и роста наночастиц металла. На рис.3 приведены интегральные (просуммированные по всем каналам) кривые интенсивности проходящего и рассеянного (кривые 1 и 2 соответственно) пучков, полученные с помощью полупроводникового

датчика большой площади. Интегральные измерения полностью согласуется с дифференциальными (распределением по всем каналам).

85 % тэна + 15% стеариновой кислоты

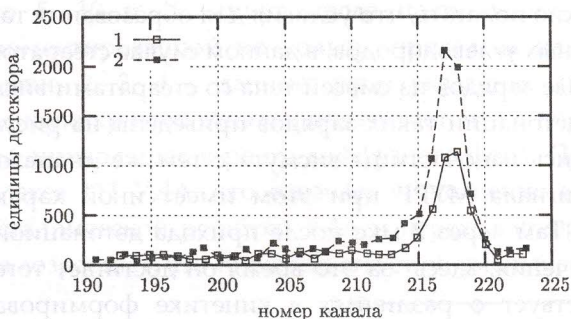


Рисунок 4.

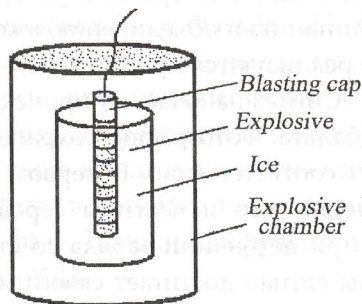


Рисунок 5.

На рис. 4 приведены аналогичные рис. 2 результаты исследования детонации прессованной смеси тэна с добавлением 15% стеариновой кислоты. Заметного малуглового рассеяния здесь

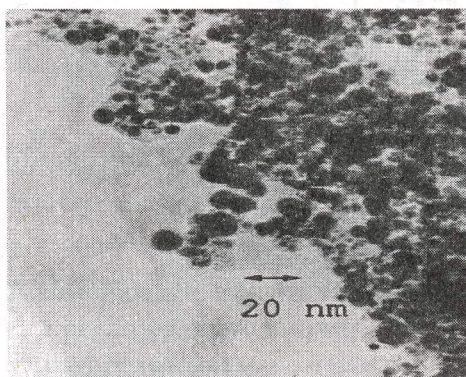


Рисунок 6.

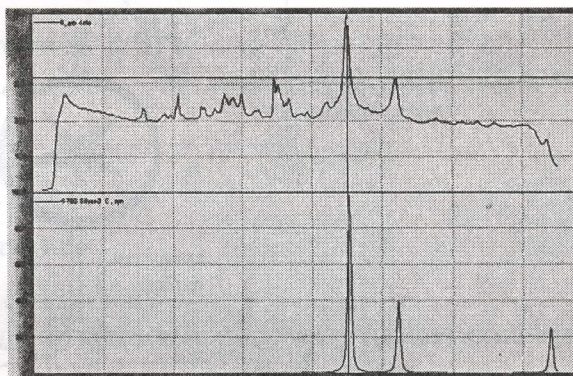


Рисунок 7.

не возникает, что соответствует характеру протекающих в данном случае процессов (детонация ВВ и разложение кислоты без образования частиц). Сохраненные продукты детонации получались по методике, описанной в [4]. Прессованные таблетки тэна со стеаратами диаметром 12,5 мм помещались



Рисунок 8.

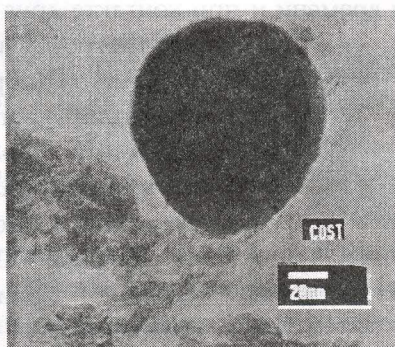


Рисунок 9.

внутри цилиндра из замороженной дистиллированной воды. Вся сборка помещалась в герметичную взрывную камеру из нержавеющей стали (рис.5). Перед экспериментом производилась тщательная очистка камеры. Для исключения возможности попадания в продукты посторонних примесей (прежде всего - частиц металлов), для подрыва заряда использовался специально изготовленный детонатор

с оболочкой из сплава тротила с гексогеном ТГ 50/50. Вес подрываемого заряда 44 г. После взрыва производился сбор продуктов взрыва вместе со льдом. Далее вода выпаривалась, собирались сухие сохраненные продукты детонации, пригодные для дальнейшего исследования. На рисунке 6 приведена фотография конденсированных продуктов детонации заряда со стеаратом серебра, сделанная с помощью просвечивающего электронного микроскопа. Наблюдаются частицы, форма которых близка к сферической, с размерами в диапазоне от 3 до 20 нм. Рентгенографические исследования показали, что полученные наночастицы действительно являются частицами серебра.

Дифрактограмма полученных продуктов (верхняя кривая) сравнивается с эталонной для серебра (нижняя кривая) на рисунке 7. Последующий анализ показал, что наночастицы серебра покрыты тонким слоем аморфного углерода, который обеспечивает стабилизацию частиц и препятствует их слипанию и объединению в конгломераты. Можно полагать, что условия для образования такого слоя реализуются при взрывном нагружении сложных углеводородов, в данном случае стеаратов.

Синтез наночастиц происходит и при подрыве зарядов из смесей тена со стеаратами висмута и кобальта. Фотографии сохраненных продуктов детонации таких зарядов приведены на рисунках 8 и 9 соответственно. В первом случае образовались наночастицы висмута с тем же диапазоном размеров, что и частицы серебра. Изменение сигнала МУРР при этом имеет иной характер, чем при детонации заряда со стеаратом серебра. Там через 2 мкс после прихода детонационной волны сигнал достигает своего максимального значения, здесь за это время он достигает того же значения, но продолжает расти. Это свидетельствует о различиях в кинетике формирования наночастиц серебра и висмута в условиях детонационного синтеза. В продуктах детонации зарядов с кобальтом наряду с частицами таких же, как и в предыдущих случаях, размеров, присутствует некоторое количество частиц с существенно большего размера (см. рисунок 9). Этот эффект еще подлежит дополнительному исследованию.

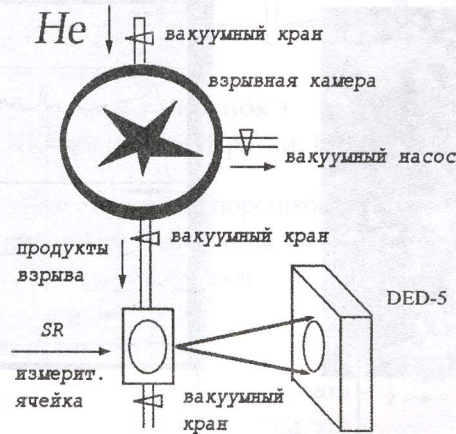


Рисунок 10.

Ввиду упоминавшейся выше повышенной реакционной способности наночастиц, их свойства и параметры могут меняться с течением времени и при контакте друг с другом. Для исследования

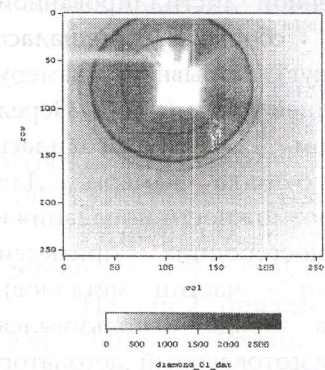


Рисунок 11.

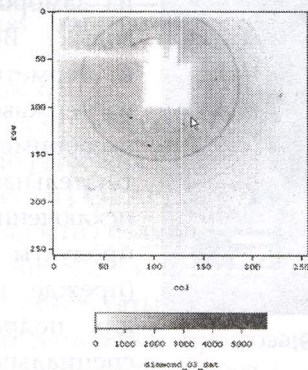


Рисунок 12.

параметров "свежих" (как можно ближе к моменту образования), не вступивших в контакт частиц, и анализа возможной эволюции параметров отдельных частиц во времени разработана соответствующая установка. Схема установки приведена на рисунке 10. После взрыва взрывная камера продувается струей гелия. Смешанные с гелием частицы продуктов во взвешенном состоянии по специальному трубопроводу быстро (за несколько миллисекунд) транспортируются в измерительную ячейку. Далее с помощью монохроматизированного пучка СИ

проводятся дифракционные исследования по стандартным методикам. Методика апробировалась на относительно хорошо изученном процессе синтеза алмазных наночастиц (ультрадисперсных алмазов, УДА) в процессе детонации заряда ВВ из сплава тротила с гексогеном 50/50. Интенсивность дифрагирующего излучения измерялась с помощью рентгеновского детектора ДЕД-5.

Тестовая дифрактограмма ультрадисперсного алмазного порошка и продуктов детонации приведены на рисунках 11 и 12. Сравнение с тестом позволяет выделить линию УДА на рисунке 12. Временная зависимость (данные на момент поступления продуктов в измерительную ячейку, через 5, 10 и 15 минут после поступления) амплитуды интенсивности рефлекса 111 УДА, проинтегрированной по кольцу, приведена на рисунке 13, кривая 1 – для начального момента времени, 2, 3, 4 – данные через указанные промежутки, которые практически укладываются на единую кривую. Анализ показывает, что с течением времени возрастает рассеяние от аморфной фазы, приводящее к росту диффузного фона. Происходит уменьшение амплитуды интенсивности рефлекса 111 УДА, что означает уменьшение кристаллической фазы в образце, т.е. разрушение кристаллической решётки УДА и переход углерода в аморфную фазу. Ширина дифракционного пика возрастает, что свидетельствует об уменьшении размера частиц УДА.

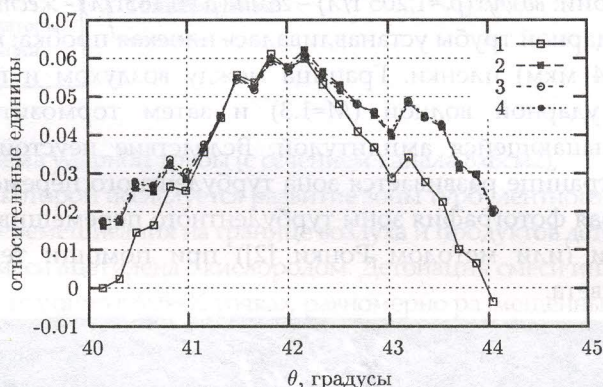


Рисунок 13.

Таким образом, в результате проведенного исследования

- предложен метод взрывного (детонационного) синтеза металлических наночастиц с узким распределением размеров;
- показана возможность использования малоуглового рассеяния пучка синхротронного излучения для исследования кинетики формирования наночастиц при взрывном синтезе;
- разработан метод и установка для исследования параметров “свежих” наночастиц.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Программы Президиума РАН, проект № 8.5, и в рамках Госконтракта № 12/4.

Список литературы

1. А.Н.Алешаев, П.И.Зубков, Г.Н.Кулипанов, Л.А.Лукьянчиков, Н.З.Ляхов, С.И.Мишнев, К.А.Тен, В.М.Титов, Б.П.Толочко, М.Г.Федотов, М.А.Шеромов. Применение синхротронного излучения для исследования детонационных и ударно-волновых процессов. // Физика горения и взрыва. 2001 г. Т. 37, № 5. С. 104-113.
2. А.Н.Алешаев, О.Е.Евдоков, П.И.Зубков, Г.Н.Кулипанов, Л.А.Лукьянчиков, Н.З.Ляхов, С.И.Мишнев, К.А.Тен, В.М.Титов, Б.П.Толочко, М.Г.Федотов, М.Р.Шарафутдинов, М.А.Шеромов. Применение синхротронного излучения для исследования детонационных и ударно-волновых процессов. // Препринт Института ядерной физики СО РАН, Новосибирск, 2000, 52 с.
3. V.Aulchenko, O.Evdokov, S.Ponomarev, L.Shekhtman, K.Ten, B.Tolochko, I.Zhogin, V.Zhulanov. Development of fast one-dimensional X-ray detector for imaging of explosions // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2003. Vol. A513. Issue 1-2. P.383-393.
4. П.И.Зубков, Л.А.Лукьянчиков, К.А.Тен, Б.П.Толочко, М.Р.Шарафутдинов. Исследование сохранных продуктов детонации. // Физика экстремальных состояний вещества – 2002. Институт проблем химической физики РАН. 2002 г. С. 91 - 93.