

Выводы

1. Отработаны экспериментальные и расчетная методики.
2. Продемонстрирована эффективность реализованного подхода на примере изучения поведения сферических оболочек из стали 12X18H10T при их взрывном обжатии в режиме двухточечного инициирования.

Литература

1. E.A. Kozlov, 2D- and 3D-explosive experiments for verification of spall and shear strengths models for some steels, Bull. Am. Phys. Soc., 2011, V. 56, No 6, P. 23, In: 17th Biennial International Conference of the APS Topical Group on Shock Compression of Condensed Matter, June 26-July 1, 2011, Chicago, Illinois, USA
2. E.A. Kozlov, S.A. Brichikov, N.S. Zhilyaeva, L.V. Khardina, L.P. Brezgina, V.N. Povyshev, A.V. Dobromyslov, N.I. Taluts, Deterministic Perturbations Developing on Steel Shells under Quasispherical Explosive Loading. Investigation Results using Laser Interferometry and Gamma-Tomography. In: Russian-US Conference on Materials Properties at Extremal Conditions, 6LAB Conference, 23-28 October, 2011, Barcelona, Spain
3. В.А. Быченков, В.В. Гаджиева. Метод СПРУТ расчета двумерных неустановившихся течений разрушаемых сред, ВАИТ. Сер. «Методики и программы численного решения задач математической физики», 1978, вып. 2 (2)
4. Л.П. Брезгина, Е.А. Козлов, В.Н. Повышев. Сравнение возможностей ультрамалоракурсной томографии и интегральной малоракурсной томографии для регистрации откольных и сдвиговых разрушений в оболочках из железа и стали при взрывном нагружении, Дефектоскопия, 2010, т.46, № 12, с.3-22 [Russian Journal of Nondestructive Testing (Engl transl.), 2010, Vol. 46, No. 12, pp. 867–883]

Синхротронная диагностика ударного сжатия SiO₂ аэрогеля.

ТЕН¹ К.А., ПРУУЭЛ¹ Э.Р., ЛУКЬЯНЧИКОВ¹ Л.А., ЕФРЕМОВ² Б.П.,
БЕСПАЛОВ² Е.В., ТОЛОЧКО³ Б.П., ЖУЛАНОВ⁴ В.В., ШЕХТМАН⁴ Л.И

¹Институт Гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН

²Институт Высоких Температур РАН

³Институт Химии Твердого тела и Механохимии СО РАН

⁴Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

Используя для диагностики синхротронное излучение от накопителя ВЭПП-3 проведены эксперименты по ударному сжатию SiO₂ аэрогелей (в продольном и поперечном направлении) с начальными плотностями аэрогеля от 0,07 до 0,25 г/см³. Получены ударные адиабаты аэрогеля при скоростях ударников до 4,0 км/с. Измерена динамика малоуглового рассеяния синхротронного излучения при ударном сжатии наноструктурного аэрогеля.

Аэрогели широко используются в детекторах элементарных частиц, а также в наполнителях головных обтекателей космических аппаратов. Поскольку в таких конструкциях аэрогель подвергается высокоинтенсивным внешним воздействиям, то представляет интерес изучение его свойств и поведения при динамических и ударно-волновых нагружениях. В литературе уже имеется ряд работ, посвященных построению ударных адиабат и уравнений состояния кремниевого аэрогеля [1-6].

В данной работе исследовалось ударно-волновое воздействие на SiO_2 аэрогель в диапазоне от 2 км/с до 4 км/с. При проведении экспериментов использовались возможности синхротронного излучения (СИ) от ускорителя ВЭПП-3 Института ядерной физики СО РАН.

Схема постановки экспериментов по исследованию детонационных и ударно-волновых процессов показана на рис.1 и детально описана в [7-8].

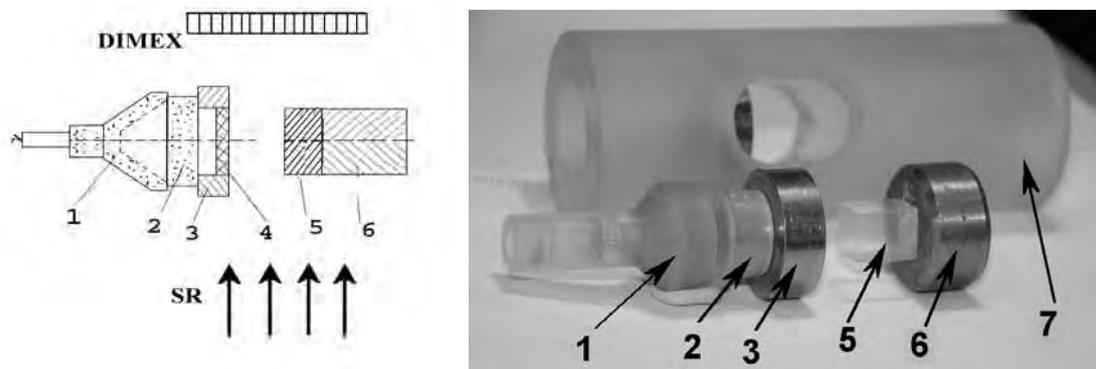


Рис. 1. Постановка экспериментов (слева). SR – плоский пучок синхротронного излучения, 1 – взрывная линза, 2 – заряд ВВ, 3 - метательное устройство (пушка), 4 – ударник, 5 – образец аэрогеля, 6 – стенка (сталь). DIMEX – детектор, 512 каналов (стрипов) по 0,1 мм каждый. Справа. Взаимное расположение элементов (расположены снаружи) в сборке при проведении экспериментов по ударному сжатию, 7 – корпус сборки.

В данной работе (в отличие от работы [5]) коренным переделкам была подвергнута экспериментальная сборка. Разработана новая взрывная линза. Теперь в ней стали использовать более стабильное пластическое ВВ на основе тэна (скорость детонации 9 км/с). Масса заряда пластита при этом увеличилась до 5 г.

Регистрация излучения велась новым детектором DIMEX-3 [9], который располагался также параллельно оси сборки на расстоянии 980 мм от нее. Размеры одного канала регистрации составляли 0,4 мм в высоту и 0,1 мм вдоль оси заряда, общее число каналов составляло 512 шт. Изменение интенсивности проходящего через образец пучка дает информацию о распределении плотности в области измерения.

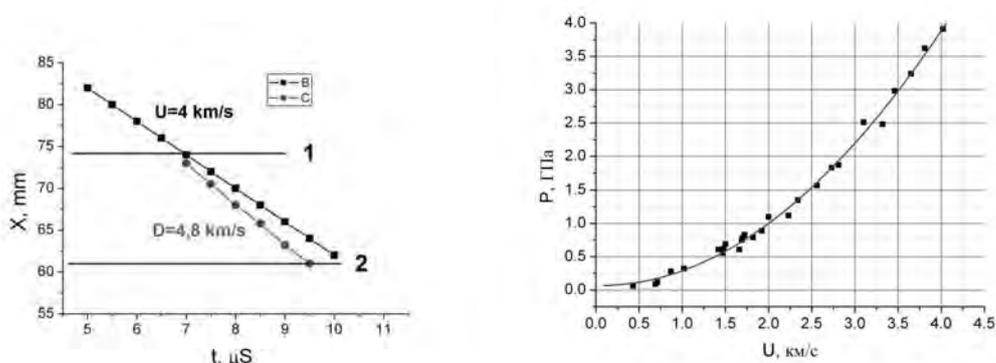


Рис. 2. Слева X-t диаграмма положения Al ударника (B) и фронта волны (C). 1,2 – границы аэрогеля. Справа. P-U диаграмма аэрогеля с начальной плотностью $0,25 \text{ г/см}^3$

В каждом опыте измерялись скорость ударной волны в образце D, массовая скорость за её фронтом, которая равна текущей скорости полета ударника U и первоначальная скорость

ударника. Экспериментальная $x-t$ диаграмма процесса соударения алюминиевого ударника с аэрогелем с плотностью $0,25 \text{ г/см}^3$ приведена на рис. 2.

Обработка экспериментов при ударном сжатии аэрогеля с начальной плотностью $0,15 \text{ г/см}^3$ и $0,25 \text{ г/см}^3$ при скоростях взаимодействия до 4 км/с показала следующую зависимость между D и U

$$D = 1.22 U - 0.25.$$

Полученных таким образом данных достаточно для полного определения параметров сжатого вещества. При этом знание значений первоначальной скорости ударника и волны позволяют также применить для расчета параметров сжатия аэрогеля метод торможения [2], поскольку ударные адиабаты материалов ударников хорошо известны. В итоге были определены ударная адиабата аэрогеля с начальной плотностью $0,25 \text{ г/см}^3$, каждая экспериментальная точка на которой строилась двумя способами, что позволило повысить точность получаемых данных. Следует отметить, что данные, получаемые этими способами, практически совпадают. Построенная для различных скоростей и материалов ударника $P-U$ диаграмма аэрогеля приведена на рис. 2.

Максимальная измеренная масса на луче достигает величины $3,7 \text{ г/см}^2$. Этому значению соответствует плотность в центре аэрогеля $\sim 2,2 - 2,3 \text{ г/см}^3$, что составляет плотность наночастиц SiO_2 .

Для динамических экспериментов с регистрацией мало-углового рентгеновского рассеяния (МУРР) использовалась схема измерения, описанная в [7, 8]. Отклоненные лучи МУРР регистрировались детектором DIMEX-3. Полученные записи МУРР показывают, что при скоростях ударника менее $2,2 \text{ км/с}$ распределение частиц SiO_2 по размерам не изменяется.

Проведенные эксперименты показали хорошую возможность измерения сжатия аэрогеля методами с использованием СИ. Отличительной особенностью наших экспериментов является возможность измерять скорости и плотности в аэрогеле одновременно. Полученные результаты дополняют данные [3-4], полученные для больших скоростей ударного сжатия, и известные данные для меньших скоростей [5]. При начальной плотности $0,25 \text{ г/см}^3$ аэрогель был сжат до максимальной возможной плотности (до плотности шариков SiO_2 , $2,2 \text{ г/см}^3$).

Работа выполнена при использовании оборудования ЦКП СЦСТИ и финансовой поддержке Минобрнауки России и гранта РФФИ № 10-08-00859.

Литература

- [1] Rabie R., Dick J.J. Equation of state and crushing dynamics of low-density silica aerogels. Shock compr. of Cond. Matt., 1991, p. 87 – 90.
- [2] Демидов Б.А., Ефремов В.П., Ивкин М.В. и др. Формирование ударной волны в аэрогеле, облученном сильноточным импульсным электронным пучком. Журнал технической физики, 1999. Т. 69. Вып. 12. С. 18-25.
- [3] Holmes N.C., See E.F. Shock compression of low-density microcellular materials. Shock compr. of Cond. Matt., 1991, p. 91 – 94.

- [4] Zhernokletov M.V., Lebedeva T.S., Medvedev A.B. at al. Thermodynamic parameters and equation of state of low-density SiO₂ aerogel. // Shock compr. of Cond. Matt., 2001, p. 763 – 766.
- [5] L.A. Merzhievsky, L.A. Lukianchikov, E.R. Prueel, K.A. Ten, V.M. Titov, B.P. Tolochko, M.R. Sharafutdinov, M.A. Sheromov. Synchrotron diagnostics of shock-wave compression of aerogel. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A, 2007, Vol. 575, Issue 1, p. 121-125
- [6] K.A.Ten, V.P.Efremov, E.R.Pruuel, L.A. Lukiyanchikov, B.P. Tolochko, I.L. Zhogin, V.V. Zhulanov, L.I. Shehtman, V.E.Fortov. Measuring of shock compression parameters in porous nanostructure materials. Physics of Extreme states of Matter-2011. Edited by Fortov V.E. at al. Institute of Problems of Chemical Physics, RAS. Chernogolovka, 2011. P. 52-54.
- [7] К. А. Тен, О. В. Евдоков, И. Л. Жогин, В. В. Жуланов, П. И. Зубков, Г. Н. Кулипанов, Л. А. Лукьянчиков, Л. А. Мержиевский, Б. Я. Пирогов, Э. Р. Прууэл, В. М. Титов, Б. П. Толочко, М. А. Шеромов. Распределение плотности во фронте детонации цилиндрических зарядов малого диаметра. Физика горения и взрыва, 2007, № 2, т. 43, с. 91-99
- [8] Титов В. М., Прууэл Э.Р., Тен К.А. и др. Опыт применения синхротронного излучения для исследования детонационных процессов. Физика горения и взрыва, 2011, т.47, № 6, стр. 3-16.
- [9] Aulchenko V.M., Baru S.E., Evdokov O.V. at al. Fast high resolution gaseous detectors for diffraction experiments and imaging at synchrotron radiation beam. //Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 623 (2010), pp. 600-602

ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ УДАРНОМ СЖАТИИ НИТРИДА КРЕМНИЯ В ПЛОСКИХ АМПУЛАХ СОХРАНЕНИЯ

Якушев В. В.^{1*}, Кудакина В. А.², Жуков А. Н.¹, Шахрай Д.В.¹, Ким В.В.¹

¹*Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Для исследования фазовых переходов в веществе при ударном сжатии в ампулах сохранения большое значение имеет определение параметров нагружения образца, т.е. профиля распространяющейся по нему ударной волны. Эта задача требует проведения достаточно сложных экспериментов и, поэтому, часто особенности ударного сжатия игнорируются, а анализ проводится для идеального случая бесконечно длинного импульса сжатия максимальной амплитуды, определяемой с помощью Р-и-диаграмм. В рамках этих предположений производится построение уравнения состояния образца и определение температуры ударного сжатия.

Достаточно распространенным случаем экспериментов на сохранение является ударное сжатие образцов из мелкодисперсной смеси исследуемого вещества с различными инертными добавками для изменения температурного режима нагружения. Так как уравнение состояния может быть построено только для вещества в равновесии, то здесь необходимо убедиться, что в смесевом образце в результате теплообмена между частицами вещества и добавки за время сжатия устанавливается термическое равновесие (равновесие по давлению считается выполненным). Полнота теплообмена между компонентами при заданной его скорости и размерах частиц определяется временем ударного сжатия. Поэтому, для обоснования возможности построения уравнения состояния образца, необходимо иметь представление о

International Conference

SHOCK WAVES IN CONDENSED MATTER

Kiev, Ukraine, 16-21 September, 2012

Международная конференция

**УДАРНЫЕ ВОЛНЫ
В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ**

Киев, Украина, 16-21 сентября, 2012 г.

Organizing Committee

Chairman	Klimenko V Y
Vice-Chairman	Nikitenko E G
Vice-Chairman	Rajendran A M
Vice-Chairman	Stepanov G V

Alekseev V V	Dzerzhinsk	Krivchenko A L	Samara
Andreev S G	Moscow	Llorca F	Valduc, France
Chepkov I B	Kiev	Maistrenko A I	Kiev
Chernov A I	Moscow	Matokhnyuk L E	Kiev
Davydov V Y	Moscow	Root S	Sandia, USA
Dolgoborodov A	Moscow	Selezenov A A	Sarov
Gryaznov E F	Moscow	Selivanov V V	Moscow
Kartuzov V V	Kiev	Shorokhov E V	Snezhinsk
Kharchenko V V	Kiev	Smirnov A S	Dzerzhinsk
Klimenko I Y	Moscow	Urtiew P A	Livermore, USA
Kolesnikov S A	Chernogolovka	Utkin A V	Chernogolovka
Kozlov E A	Snezhinsk	Yanilkin Y V	Sarov

Organizers:

High Pressure Center, Institute of Chemical Physics, Moscow

Institute for Problem of Strength, Kiev