

Заключение

Установки ГНУВ обеспечивают проведение экспериментальных исследований по динамическому разрушению конструкционных материалов. Метод электрического взрыва фольги на поверхности образца формирует ударные волны амплитудой до 4 ГПа, метод удара расширяет диапазон до 50 ГПа. Методики измерений позволяют контролировать действующие напряжения в образце в процессе эксперимента.

Список литературы

1. Афанасьев В.Н., Кучеренко Ю.А., Литвин А.Т., Павленко А.В. Генератор ударной волны на принципе электрического взрыва фольги. В трудах 3^{го} Международного Семинара «Радиационная Физика Металлов и Сплавов». Россия. Снежинск, 21-27 февраля, 1999г.
2. Чау Х., Диттенберг Г., Хоффер В. и др. Электрическая пушка – универсальное средство для создания ударных волн с большими амплитудами давления. ПНИ, №12, с.88, 1980г.

ВОЗМОЖНОСТИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ИНЕРТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л.А.Мержиевский, П.И.Зубков, Г.Н.Кулипанов¹, Л.А.Лукьянчиков, К.А.Тен, В.М.Титов, Б.П.Толочко², М.Г.Федотов¹, М.Р.Шарафутдинов², М.А.Шеромов¹
 Институт гидродинамики им. М.А.Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия
¹Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

Привлечение новых идей для создания методик экспериментального исследования служит толчком к расширению фронта рассматриваемых задач, так как позволяет надеяться на получение качественно новой информации даже в тех случаях, когда уже сформировались устойчивые представления об изучаемых явлениях. Такой идеей в исследовании детонационных и ударно-волновых процессов явилась идея использования для их диагностики рентгеновского спектра синхротронного излучения (СИ) [1]. Конечно, традиционные рентгеновские методики в этих случаях использовались и ранее, но СИ имеет целый ряд преимуществ, наиболее важными среди которых с точки зрения сформулированных задач исследования являются малая угловая расходимость ($10^{-3} \div 10^{-5}$ рад) при высокой интенсивности потока ($\sim 10^{16} \div 10^{21}$ фотонов/(с·см²)), малая длительность импульса излучения (менее 1 нс) и, соответственно, времени экспозиции, стабильность в течение длительного времени интервалов генерируемых импульсов, величину которых можно варьировать в широком диапазоне (5 ÷ 1200 нс). В данной работе демонстрируются возможности СИ в диагностике ударно-волнового деформирования и разрушения инертных материалов.

Высокоинтенсивное, в том числе – ударно-волновое, воздействие на вещество уже давно стало одним из основных инструментов для изучения свойств, поведения и построения уравнений состояния (в широком смысле) конденсированных сред в обширном диапазоне изменения параметров. При этом одним из наиболее сложных моментов в таких исследованиях является диагностика процессов и состояний, реализующихся при интенсивных динамических воздействиях. До настоящего времени основные методы измерений основывались либо на использовании различных, в основном манганиновых, датчиков, либо на отслеживании тем или иным способом перемещения и скорости свободной поверхности под действием волн сжатия и разрежения. В первом из этих подходов сами помещенные внутрь исследуемого образца датчики и неизбежные нарушения сплошности материала вносят возмущения в изучаемый процесс и могут оказывать влияния на измеряемые параметры. Во втором случае для определения термодинамических параметров необходимо их вычисление по измеряемым кинематическим характеристикам, что требует привлечения модели среды, построение которой чаще всего и является целью исследования. Ясно, что в данном случае получаемый результат оказывается в значительной степени привязанным к выбранной для пересчета модели. В предлагаемой методике, основанной на использовании синхротронного излучения (СИ), удастся в основном устранить указанные недостатки.

Основные явления при взаимодействии излучения с веществом, которые можно привлекать для диагностики процессов – это поглощение части излучения веществом, отклонение лучей на малые углы (малоугловое рассеяние) и брегговская дифракция излучения. Отношение интенсивности до и после прохождения образца несет информацию о плотности поглощающего вещества. Отклонение лучей на малые углы происходит на флуктуациях электронной плотности в зоне взаимодействия и позволяет судить о возникновении и эволюции дефектов структуры различной природы. Наконец, наименее интенсивное

дифрагированное излучение связано с параметрами периодических структур или макродефектами. Возможности использованных линий СИ позволяют пользоваться первыми двумя эффектами, то есть отслеживать изменение плотности в процессе деформирования и разрушения и кинетику зарождения и эволюции центров микроразрушений.

Принципиальная схема экспериментов по диагностике ударно-волновых процессов в конденсированных средах показана на рис.1. Нагружение цилиндрических образцов 1 высотой 10 мм с одного из торцов производилось взрывом заряда взрывчатого вещества (ВВ) ТГ 50/50 такой же формы (3 на рисунке), высотой 70мм. Противоположный торец образца контактировал со стальным цилиндром 5 длиной 20мм. Диаметры всех элементов экспериментальной сборки 10мм. Область наведения пучка СИ 2, имевшего в перпендикулярном сечении размер 2x1,5мм, представляла собой квадрат 2x2мм. Интенсивность проходящего излучения фиксировалась с помощью микрострипового детектора [1]. Размер стрипов в направлении оси образца 0,1мм, в экспериментах использовались три стрипа (канала), расстояние между которыми 0,2мм. В ряде экспериментов между зарядом 3 и образцом 1 помещался стальной цилиндр длиной 10 мм.

Для первоначальных исследований были выбраны пористый материал сферопластик (композитный материал на основе полых микросфер и полимерного связующего) и полиметилметакрилат (ПММА), проявляющий при ударно-волновом нагружении разнообразный комплекс физических и механических свойств. Структура сферопластика показана на рис.2 (фотография среза, полученная на оптическом микроскопе при 250 – кратном увеличении). По результатам микроструктурного исследования построена гистограмма распределения диаметров микросфер d , рис.3, имеющая четкий максимум в области размеров ~ 30 мкм. Вычисленное математическое ожидание (средний размер микросфер) $d^* \approx 0,033$ мм. Ранее была построена модель для описания поведения данного материала при динамических нагрузках [2].

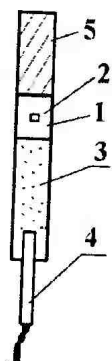


Рисунок 1.

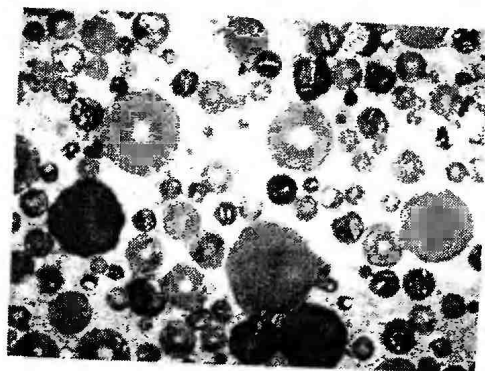


Рисунок 2.

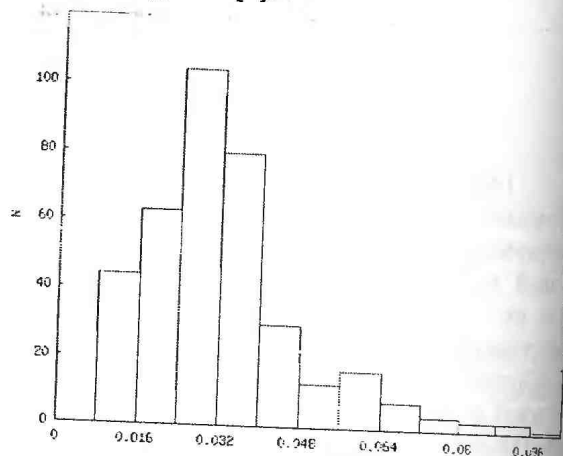


Рисунок 3.

Результаты измерения интенсивности (в относительных единицах) проходящего через образец рентгеновского луча, меняющейся с изменением плотности материала при нагружении сферопластика через стальной цилиндр показаны на рис.4 в форме зависимости от времени (25 мкс в 100 делениях). На зависимости четко фиксируется двухступенчатая структура волны, состоящей из предвестника (1 на рис.4) и волны необратимого сжатия (2 на рис.4). Такое поведение сферопластика при ударном сжатии вполне соответствует данным об особенностях динамического сжатия, обсуждавшимся в [2]. Резкое падение интенсивности до нуля связано с выходом ударника (ускоренного взрывом цилиндра) в область 2 рис.1.

Как известно, в зависимости от условий нагружения ПММА может быть упругим, упруго-вязкопластическим, упруго-хрупким [3]. В последнем случае может происходить его разрушение в форме волны хрупкого разрушения, распространяющейся по сжатому образцу. Несмотря на значительное количество экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию свойств и поведения этого и других материалов со сходными свойствами (в основном стекол), устоявшееся физическое представление о протекании такого процесса (физическая модель), а следовательно, и адекватная математическая модель явления отсутствуют. Дискуссионными остаются практически все ключевые вопросы механизмов ударно-волнового сжатия и возникновения и эволюции волны разрушения [4]. Например, до сих пор остается невыясненным вопрос о том, какие трещины – продольного или поперечного сдвига являются определяющими в волне разрушения. Указанное обстоятельство делает актуальным получение новой информации о структуре и кинетике волн сжатия и разрушения.

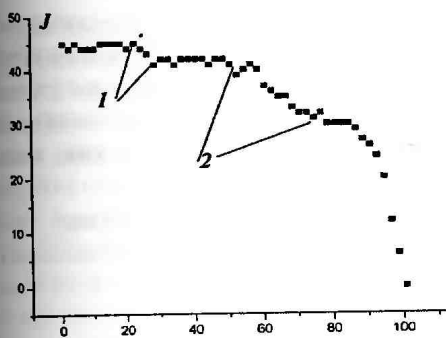


Рисунок 4.

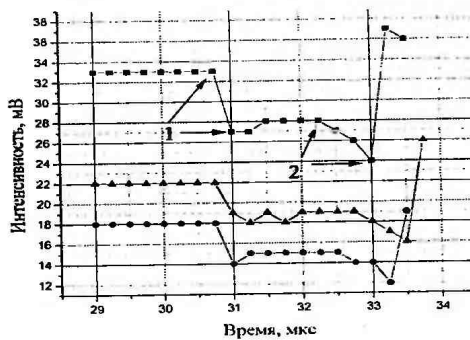


Рисунок 5.

Результаты измерения в случае нагружения образца из ПММА по схеме рис.1 приведены на рис.5. На приведённой записи четко фиксируется сжатие во фронте ударной волны 1 (скачку интенсивности соответствует скачек плотности), за которым через некоторый промежуток времени следует волна разрушения 2. Далее следует увеличение интенсивности (уменьшение плотности), соответствующее разлету образовавшихся осколков в волнах разрежения. Полученные данные позволяют провести количественные оценки параметров наблюдаемого процесса. На основе соотношений для ослабления интенсивности проходящего пучка и известной ударной адиабаты ПММА [5] можно сделать две независимые оценки параметров сжатия в фиксируемой на рис.5 ударной волне [6]. Коэффициент ослабления интенсивности пучка СИ плексигласом определялся в специально проведенной серии экспериментов. Рассчитанный без учета эффекта боковой разгрузки в первом случае скачок плотности $\approx 1,4$, с учетом разгрузки $\approx 1,3$, а по ударной адиабате (скорость ударной волны была измерена независимо) $\approx 1,35$ что показывает достаточно хорошую точность, достигаемую в измерениях с помощью СИ.

Как следует из данных рис.5, в волне разрушения, следующей за ударной волной через 1,25 мкс, происходит дальнейший рост плотности. Эффект уплотнения хрупких материалов в волне разрушения известен [7-9], однако для ПММА, по-видимому, наблюдается впервые. Достигнутое максимальное сжатие $\approx 1,52$. Вычисленная по данным опытов скорость волны разрушения $D_R = 0,8$ км/с, что хорошо согласуется с известной оценкой [4] $D_R \approx 0,5 C_t$, $C_t = 1,4$ км/с – поперечная скорость звука. Данное значение D_R , однако, является локальным. Логично предположить, что, как и в случае разрушения ПММА при взрыве сферического заряда ВВ внутри плексигласового блока [10], скорость фронта разрушения в рассматриваемых условиях является убывающей функцией пройденного расстояния, асимптотически приближающейся к стационарному значению $D_R \approx 0,5 C_t$.

Полный профиль изменения плотности при прохождении УВ и волны разрушения, построенный по результатам измерений, приведен на рис.6. Качественно он соответствует профилю изменения напряжений в стекле, наблюдавшемуся в [7-9] в аналогичном процессе.

Примером использования малоуглового рассеяния (МУРР) могут служить эксперименты по нагружению нафталина. В этом случае наряду с измерением плотности фиксировался сигнал малоуглового рассеяния "мягкой" ($\sim 7 \div 15$ кэВ) и "жесткой" ($\sim 15 \div 30$ кэВ) компонент СИ. Результаты измерений приведены на рис.7, D – проходящее излучение, C – "мягкая", B – "жесткая" компоненты МУРР. "Мягкая" вещества возрастает, одновременно возрастает интенсивность "жесткой" компоненты МУРР. "Жесткая" практически не меняется в течение всего процесса. После начала разгрузки "жесткая" вновь падает почти до исходного уровня. По нашему мнению, такое поведение МУРР может быть объяснено началом деструкции нагружаемого вещества при ударно-волновом нагружении. Это объяснение не претендует на строгую обоснованность и носит сугубо предварительный характер. Принципиальным здесь является появление МУРР при ударно-волновом нагружении инертного вещества.

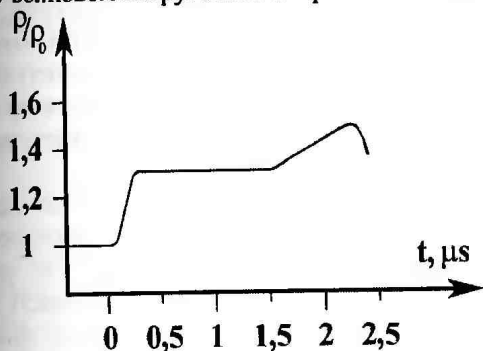


Рисунок 6.

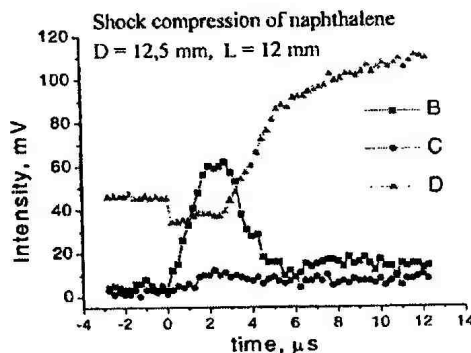


Рисунок 7.

Резюмируя сказанное, можно утверждать, что проведенный анализ результатов измерений распределения плотности в ударно сжатых сферопластике и ПММА с помощью синхротронного излучения дает представление о динамике волн сжатия (УВ) и разрушения, полностью согласующиеся с имеющимися представлениями о развитии рассматриваемого явления. Получены предварительные результаты о появлении МУРР при ударно-волновом нагружении инертного вещества. Таким образом, впервые показана применимость СИ для исследования данного класса процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 02-02-16799), программы ведущих научных школ (грант 00-15-96181) и интеграционного гранта СО РАН № 51.

Список литературы

1. А.Н.Алешаев, П.И.Зубков, Г.Н.Кулипанов и др. Применение синхротронного излучения для исследования детонационных и ударно-волновых процессов. // ФГВ, 2001, т.37, № 5, с. 104.
2. Л.А.Мержиевский, А.Д.Реснянский. О моделировании динамического деформирования сферопластика. // ФГВ, 1992, №3, с.119.
3. L.M. Barker, R.E.Hollenbach. Shock-wave studies of PMMA, fused silica and sapphire. // J. Appl. Phys., 1970, v.41, N 10, p. 4208.
4. В.Н.Николаевский. Динамическая прочность и скорость разрушения. // В сб. Удар, взрыв и разрушение. М. Мир, 1981, с. 166.
5. Р. Мак-Куин, С.Марш, Дж.Тейлор и др. Уравнение состояния твердых тел по результатам исследований ударных волн. // Высокоскоростные ударные явления. М., Мир, 1973, с.299.
6. П.И.Зубков, Г.Н.Кулипанов, Л.А.Лукьянчиков, Л.А.Мержиевский и др. Наблюдение волн сжатия и разрушения в ПММА с помощью синхротронного излучения. ФГВ, 2003, т. 39, № 2, с. 137.
7. N.K.Bourne, Z.Rosenberg. The dynamic response of soda – lime glass. // Shock compression of condensed matter – 1995 Proc. of AIP Conf., N-Y, Woodburg, 1996, Pt. 1, p. 567.
8. Z.Rosenberg, N.K.Bourne, J.C.F.Millet. Direct measurement of strain in shock-loaded glass specimens. J. of Appl. Phys., 1996, v. 79, N 8, p. 3971.
9. N.K.Bourne, J.C.F.Millet, Z.Rosenberg. Failure in a shocked high-density glass. J. of Appl. Phys., 1996, v. 80, N 8, p. 4328.
10. В.В.Адушкин, А.Н.Сухотин. О разрушении твердой среды взрывом. // ПМТФ, 1961, № 4, с. 94.

ЗАЩИТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Г.С.Григорьев, А.В.Желудов, В.Л.Желудов, В.П.Глинский

ФГУП Красноармейский НИИ механизации, г.Красноармейск, Московская обл., Россия

В различных сферах современной промышленности, энергетики и науки возникает необходимость проведения взрывных процессов в замкнутом объеме.

Эти процессы могут иметь как запланированный, технологически необходимый характер, например процессы обработки металлов взрывом (сварка, упрочнение), синтез новых сверхтвердых материалов (искусственные алмазы, боразон) или исследование быстропотекающих процессов; так и нежелательный, когда взрывные превращения не являются элементом рабочего процесса, но существует потенциальная возможность возникновения взрыва в случае аварийной ситуации, например при снаряжении или утилизации боеприпасов. Поэтому перед разработчиками защитной техники стоит задача устранить воздействие поражающих факторов взрыва на технологическое оборудование, оснастку, сооружения и персонал.

Первоначально интерес к взрывозащитным конструкциям определялся задачами военной промышленности, а уже затем потребностями физического эксперимента, необходимостью перехода от полигонных к лабораторным формам проведения исследований, что было связано с внедрением в практику эксперимента электронных и оптических средств измерений. Для этих целей первые исследовательские взрывозащитные конструкции были введены в действие в ЛФТИ им. А.Иоффе в 1948г.

Системные исследования взрывозащитных конструкций проводились и за рубежом, в частности в США с целью создания защитных оболочек для локализации аварийного разрушения ядерных реакторов в случае теплового взрыва активной зоны. Основные результаты исследований обобщены в работе [1]. Дальнейшее развитие исследований связано с разработкой и внедрением в промышленность процессов обработки материалов взрывом. Работы по взрывозащитным технологическим камерам были начаты в Институте гидродинамики СО АН СССР в 60-х годах и в дальнейшем были продолжены рядом организаций - МВТУ им.Н.Баумана, ИЭС им. Е.Патона, ВНИИЭФ, АНИИ и т.д. Были разработаны инженерные методы

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.