

В сплаве Амгб зависимости размера зерен и микротвердости от температуры для ЭИО качественно отличаются от статического отжига, что может быть связано с влиянием различных легирующих добавок. Размер зерен и микротвердость в полностью рекристаллизованном с помощью ЭИО меди М1, как отмечалось выше, зависят от степени предварительной деформации. Для Амгб при ЭИО независимо от величины предварительной деформации при больших значениях вложенной энергии во всех образцах формируется состояние с одинаковым значением микротвердости и размера зерна. Причем формируется более мелкозернистая структура по сравнению со статическим отжигом.

Таким образом, воздействие импульсами тока большой плотности приводит к термоактивизации процессов рекристаллизации в материалах. Наблюдаемые качественные и количественные отличия от статической рекристаллизации связаны с влиянием кинетики перераспределения дефектов структуры в процессах рекристаллизации при кратковременном воздействии высоких температур, вызванном ЭИО.

1. Головин Ю.И., Финкель В.М., Иванов В.М., Слетков А.А. // ФХОМ. 1976. №6. С.131.
2. Спицын В.И., Троицкий О.А. Электропластическая деформация металлов. М.: Наука, 1985.
3. Беклемишев Н.Н., Горбунов Н.М., Корягин Н.И. и др. Препринт Института проблем механики АН СССР №Т-21214. М., 1989.
4. Кнопфель Г. Сверхсильные магнитные поля. М.: Мир 1972.
5. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов. М: Metallurgia, 1978.
6. Камалов З.Г., Валеев И.Ш. // ФХОМ. 2000. №2. С.67.

ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Зубков П.И.¹, Кулипанов Г.Н.², Лукьянчиков Л.А.¹, Мерзиевский Л.А.^{1*}, Твн К.А.¹, Титов В.М.¹, Толочко Б.П.³, Федотов М.Г.², Шарафутдинов М.Р.³, Шеромов М.А.²

¹ИГиЛ СО РАН, Новосибирск, ²ИЯФ СО РАН, Новосибирск, ³ИХТТМ СО РАН, Новосибирск
*merzh@hydro.nsc.ru

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 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 в данной работе методике, основанной на использовании синхротронного излучения (СИ) удается в основном устранить указанные недостатки. Возможности применения рентгеновского синхротронного излучения для изучения детонационных и ударно-волновых процессов обсуждались в [1]. Среди уникальных свойств генерируемого излучения наиболее важными с точки зрения сформулированных задач исследования являются малая угловая расходимость при высокой интенсивности потока, малая длительность импульса излучения (менее 1 нс) и, соответственно, времени экспозиции, стабильность интервалов генерируемых импульсов.

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 рис. 1), высотой 70 мм. Противоположный торец образца контактировал со стальным цилиндром 5 длиной 20 мм. Диаметры всех элементов экспериментальной сборки 10 мм. Область наведения пучка СИ 2, имевшего в перпендикулярном сечении размер 2×1.5 мм, представляла собой квадрат 2×2 мм. Интенсивность проходящего излучения фиксировалась с помощью микрострипового детектора [1]. Размер стрипов в направлении оси образца 0.1 мм, в экспериментах использовались три стрипа (канала), расстояние между которыми 0.2 мм. В ряде экспериментов между зарядом 3 и образцом 1 помещался стальной цилиндр длиной 10 мм.

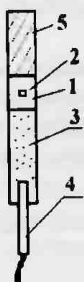


Рис. 1.

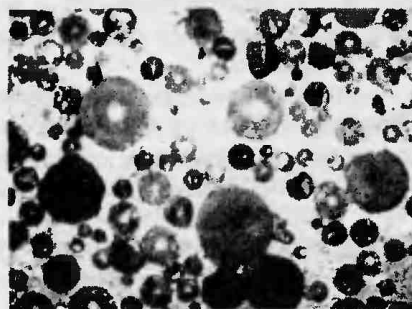


Рис. 2.

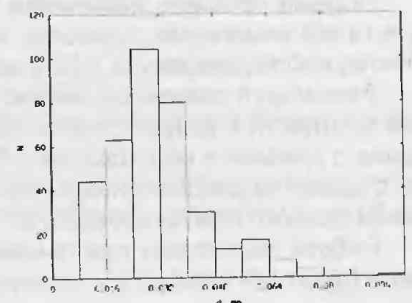


Рис. 3.

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-ти 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].

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 и области необратимого сжатия. 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, упруговязкопластическим, упругохрупким [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 стекла), 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.

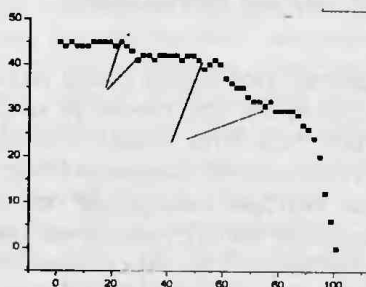


Рис. 4.

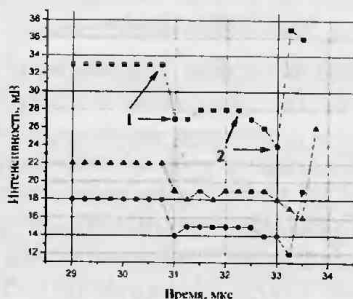


Рис. 5.

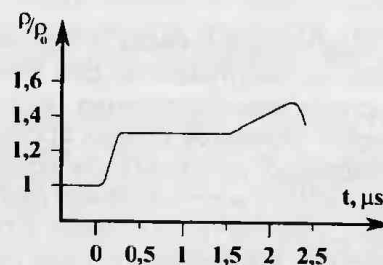


Рис. 6.

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 фиксированной на рис. 5 ударной волне. Рассчитанный в первом случае скачок плотности ~ 1.31 , а по ударной адиабате (скорость ударной волны была измерена независимо) ~ 1.35 что показывает достаточно хорошую точность, достигаемую в измерениях с помощью СИ.

Как следует из данных рис. 2, в волне разрушения, следующей за ударной волной через 1.25 мкс, происходит дальнейший рост плотности. Эффект уплотнения хрупких материалов в волне разрушения известен [6], однако для ПММА, по-видимому, наблюдается впервые. Достигнутое максимальное сжатие ~ 1.52 . Вычисленная по данным опытов скорость волны разрушения $D_R = 0.8$ км/с, что хорошо согласуется с известной оценкой [4] $D_R \approx 0.5C_t$, $C_t = 1.4$ 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 [7], скорость фронта разрушения в рассматриваемых условиях является убывающей функцией пройденного расстояния, асимптотически приближающейся к стационарному значению $D_R \approx 0.5C_t$.

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, наблюдававшемуся в [6] в аналогичном процессе.

Резюмируя сказанное, можно утверждать, что проведенный анализ результатов измерений распределения плотности в ударно сжатых сферопластике и ПММА с помощью синхротронного излучения дал представление о динамике волн сжатия (УВ) и разрушения, полностью согласующиеся с имеющимися представлениями о развитии рассматриваемого явления. Таким образом, впервые показана применимость СИ для исследования данного класса процессов.

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

1. Алешаев А.Н., Зубков П.И., Кулипанов Г.Н. и др. // ФГВ. 2001. Т.37. №5. С.104.
2. Мержиевский Л.А., Реснянский А.Д. // ФГВ. 1992. №3. С.119.
3. Barker L.M., Hollenbach R.E. // J. Appl. Phys. 1970. V.41. №10. P.4208.

4. Николаевский В.Н. // Удар, взрыв и разрушение. М.: Мир, 1981. С.166.
5. Мак-Куин Р., Марш С., Тейлор Дж. и др. // Высокоскоростные ударные явления. М.: Мир, 1973. С.299.
6. Bourne N.K., Rosenberg Z. // Shock compression of condensed matter — 1995. New York: AIP Press, 1996. Pt.1. P.567.
7. Адушкин В.В., Сухотин А.Н. // ПМТФ. 1961. №4. С.94.

РЕГИСТРАЦИЯ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЙЯНИЯ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОГО СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИКИ РОСТА НАНОЧАСТИЦ УГЛЕРОДА ПРИ ДЕТОНАЦИИ ВВ

Тен К.А.^{1*}, Аульченко В.М.², Евдокоев О.В.³, Жогин И.Л.³, Жуланов В.В.², Зубков П.И.¹, Каменецкий Ю.М.³, Кулипанов Г.Н.², Лукьянчиков Л.А.¹, Ляхов Н.З.³, Мерзиевский Л.А.¹, Титов В.М.¹, Толочко Б.П.³, Шарафутдинов М.Р.³, Шеромов М.А.², Шехтман Л.И.²

¹ИГиЛ СО РАН, Новосибирск, ²ИЯФ СО РАН, Новосибирск, ³ИХТТМ СО РАН, Новосибирск
*ten@hydro.nsc.ru

Наиболее простым способом увеличения интенсивности является использование полного спектра синхротронного излучения (СИ) для динамических экспериментов. Использование полихроматического СИ позволяет увеличить число фотонов в первичном пучке на 3–4 порядка, а, следовательно, кардинально сократить время регистрации прошедшего через образец пучка. Именно этот факт делает возможным исследование детонационных процессов в динамике, то есть с наносекундным временным разрешением.

Постановка экспериментов. Эксперименты проводились на станции, расположенной на «0» канале ускорителя ВЭПП-3. Схема постановки экспериментов показана на рис. 1. Заряд ВВ (ТГ 50/50) диаметром 12.5 мм и длиной 85 мм располагался вертикально. Пучок СИ размерами 1.2 мм высотой и 1.6 мм шириной формировался в центре заряда. Регистрация малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) велась детектором DIMEX [3], который располагался перпендикулярно оси заряда на расстоянии 1 м. Перед детектором располагался нож, отсекавший прямой пучок. Запуск детектора осуществлялся замыканием контактного датчика, установленного на расстоянии 35 мм перед плоскостью пучка СИ. Размеры одного канала составляли 1 мм в высоту и 0.1 мм вдоль оси Y, общее число каналов — 256. За одну вспышку СИ детектор записывает все каналы (делает один кадр), фиксируя МУРР вдоль радиуса (по оси Y). Поскольку фронт детонации движется по оси Z с постоянной скоростью 7.9 км/с, то через время оборота одного сгустка детектор записывает еще один кадр, формируя кадры МУРР вдоль оси Z.

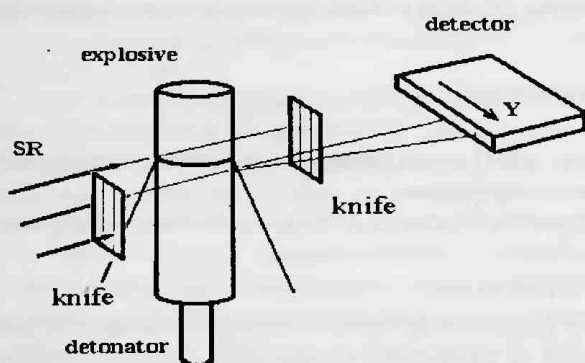


Рис. 1. Постановка экспериментов

В первых экспериментах измерения проводились через 0.5 мкс. Общее время регистрации составляло 16 мкс (32 кадра), сериями по 10 съемок, первая из которых рабочая. Время экспозиции определялось периодом прохождения электронного сгустка в рабочей области высвечивания пучка и составляло менее 1 нс.

На рис. 2 приведена зависимость профиля интенсивности малоуглового рассеяния на ВВ при прохождении детонационной волны от времени, нормированная на кривую изменения плотности. Диапазон угловой развертки кривой малоуглового рассеяния в данном случае соответствует ~ 15 каналам детектора, т.е. 1.5 мм. Эта величина задает угловой диапазон при заданной геометрии съемки (расстояние от образца до детектора 1030 мм) ~ $2.5 \cdot 10^{-3}$ рад.

Результирующие кривые получены по результатам десяти экспериментов, с учетом сдвига во времени посредством привязки начала роста кривой МУРР к моменту прохождения детонационного фронта через исследуемую область. Из рис. 2 видно, что максимум интенсивности МУРР достигается через ~ 2 мкс после прихода детонационного фронта. После этого на кривой наблюдается медленный спад, что хорошо согласуется с результатами экспериментов предыдущей серии [1, 2].

Определение параметров наноструктур при детонации ВВ с помощью малоуглового рассеяния полихроматического СИ. Связь между угловой зависимостью интенсивности рассеяния полихроматического излучения $J(\theta)$ и угловой зависимостью интенсивности рассеяния монохроматического излучения объектом $I(\theta, \lambda)$ описывается уравнением

$$J(\theta) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) I(\theta, \lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где $\varphi(\lambda)$ — спектр СИ с учетом поглощения, квантовой эффективности детектора и зависимости интенсивности рассеяния объектом от длины волны.

Для получения структурной информации об объекте необходимо разрешить уравнение (1) относительно $I(\theta, \lambda)$, что в общем случае сопряжено с большими трудностями. Задача существенно упрощается, если вид функции $I(\theta, \lambda)$ известен или ее можно достаточно адекватно смоделировать.

В случае рассеяния на изотропных системах

$$I(s) = 4\pi \int_0^D P(r) \frac{\sin sr}{sr} r^2 dr \quad (2)$$

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ ПЛАЗМЫ
ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ КБНЦ РАН

ФИЗИКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА – 2003

Физика экстремальных состояний вещества – 2003

Под редакцией Фортова В.Е., Ефремова В.П., Хищенко К.В., Султанова В.Г.,
Темрокова А.И., Канеля Г.И., Минцева В.Б., Савинцева А.П.

Сборник включает в себя работы по исследованиям в области физики высоких плотностей энергии и теплофизики экстремальных состояний. Рассматриваются различные методы генерации интенсивных импульсных потоков энергии, эффекты взаимодействия мощных ионных и электронных пучков, интенсивного лазерного, рентгеновского и СВЧ излучения с веществом, явление электрического взрыва проводников мощными импульсами тока, некоторые задачи физики ударных и детонационных волн, экспериментальные методы диагностики сверхбыстрых процессов, модели уравнений состояния вещества в экстремальных условиях, физика низкотемпературной плазмы, проблемы управляемого термоядерного синтеза и традиционной энергетики, а также различные технологические аспекты. Основная часть работ была представлена на XVIII Международной конференции «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество» (Эльбрус, 1–6 марта 2003 г.). Издание адресовано специалистам в области физико-технических проблем энергетики.

ИЗ ИСТОРИИ КОНФЕРЕНЦИЙ «УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА» И «ВОЗДЕЙСТВИЕ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ НА ВЕЩЕСТВО»

К концу семидесятых годов прошлого века назрела необходимость в координации проводимых в Советском Союзе исследований по физике экстремальных состояний вещества. Отечественные ученые испытывали огромную потребность делиться друг с другом самыми новыми результатами своей работы в этой бурно развивающейся области физики, узнавать точку зрения коллег по интересующим вопросам. Первое Всесоюзное совещание по уравнениям состояния вещества в экстремальных условиях состоялось в октябре 1978 г. в гостинице «Чегет», расположенной в Баксанском ущелье вблизи высочайшей вершины Кавказа горы Эльбрус, по предложению известного советского физика Киржница Д.А., крупнейшего специалиста физики экстремальных состояний, ядерной физики, астрофизики и космологии. В числе участников этого совещания были выдающиеся ученые — герои Социалистического Труда Альтшулер Л.В., Бабаев Ю.Н. и Романов Ю.А., молодой доктор наук (будущий академик) Фортон В.Е. В дальнейшем это совещание проводилось на Эльбрусе каждый четный год, организация мероприятия была поручена Фортону В.Е.

После IX конференции «Уравнения состояния» (март 1994 г.) научные совещания по физике экстремальных состояний вещества обрели статус международных и стали проводиться ежегодно: тема заседаний каждого нечетного года, начиная с X Международной конференции (март 1995 г.), — «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество», — тем самым была продолжена традиция Всесоюзных совещаний по данной тематике, проводившихся ранее в «Чегете», на Медео и Чимбулаке под Алма-Атой, во Владивостоке и в Черноголовке.

Следует отметить, что за прошедшие четверть века регулярность проведения этих конференций ни разу не была нарушена (даже в трудные для российской науки первые годы после распада СССР). В этом заслуга сопредседателей — академика Фортон В.Е. и Темрокова А.И., а также организаций-спонсоров — Российского фонда фундаментальных исследований (Москва), Института теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН (Москва), Института проблем химической физики РАН (Черноголовка), Кабардино-Балкарского государственного университета (Нальчик) и Научно-исследовательского института прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра РАН (Нальчик).

Залог успеха конференции среди широкого круга специалистов современной физики экстремальных состояний не только в актуальности тематики, но и в уникальном регламенте работы заседаний, сочетающихся с экстремальными видами активного отдыха (горный туризм, альпинизм, горные лыжи). Важной традицией оргкомитета стало оказание финансовой поддержки участия в конференции молодых ученых, аспирантов и студентов.

Редколлегия

Сдано в набор 12.02.03. Подписано в печать 13.02.03. Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Ариал». Усл. п. л. 22,5. Заказ 54. Тираж 170.

Отпечатано в типографии ИПХФ РАН. Изд. лиц. № 03894 от 30.01.2001 г.

142432, г. Черноголовка, Московская обл., Институтский пр-т, 18