

## ЛИТЕРАТУРА

1. Годунов С. К., Дерibas А. А., Захаренко И. Д. и др. ФГВ, 1971, 7, 1.
2. Кривенцов А. Н., Седых В. С. Физика и химия обработки материалов, 1969, 7.
3. Hammerschmidt M., Kreye H. Shock Waves and High — Strain — Rate Phenomena in Metals.— N. Y.; L.: Plenum Press, 1980.
4. Бондарь М. П., Оголихин В. М. ФГВ, 1985, 21, 2.
5. Bondar M. P., Ogolikhin V. M. Internat. Conf. on Mechanical and Physical Behaviour of Materials Under Dynamic Loadings.— Paris, 1985.
6. Симонов В. А., Оголихин В. М. VI Междунар. симп. по обработке материалов взрывом.— Готвальдов, ЧССР, 1985.
7. Hoare M. R., Pal P. Adv. Phys., 1975, 24, 645.
8. Oberg A., Martenson N., Schveitz Y. A. Metallurg. Transactions, 1985, 16A, 5.
9. Добрушин Л. Д. Автомат. сварка, 1979, 6.

Поступила в редакцию 28/VIII 1986,  
после доработки — 15/XII 1986

### ДОПЛЕРОВСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ МИШЕНЕЙ, УСКОРЯЕМЫХ ВЗРЫВОМ, НА ОСНОВЕ ЙОДНОГО ЛАЗЕРА

Г. Б. Власова, А. Л. Михайлов, Б. А. Поклонцев, А. В. Федоров  
(Москва)

Лазерные, в том числе доплеровские, методы находят все более широкое применение в исследовании газодинамических процессов. Для изучения движения контактных и свободных границ тел в условиях взрыва в настоящее время применяются в основном два типа таких измерителей — интерферометр сдвига [1] и дифференциальный интерферометр скорости [2, 3]. Эффективность и ограничения применения этих методов определяются условиями протекания исследуемых процессов. Для измерителей первого типа существует верхний предел измеряемых скоростей. Он определяется, в основном, частотой зондирующего излучения и частотными характеристиками регистрирующей аппаратуры ( $\Delta\nu \sim 10^9$  Гц) и для лазерного излучения видимого диапазона составляет  $\sim 500$  м/с.

Измерители второго типа имеют ограничение по величине ускорения изучаемого объекта, что затрудняет их применение в исследовании ударно-волновых явлений. Оба метода чувствительны к степени пространственной когерентности зондирующего излучения, что осложняет их использование для изучения процессов, связанных с диффузным рассеянием света. Кроме того, регистрация доплеровского сигнала в этих измерителях основана на определении интенсивности светового сигнала фотоприемником (ФЭУ, фотодиод), что делает их чувствительными к изменениям отражательной способности или индикатрисы рассеяния зондируемых поверхностей, практически неизбежным в экспериментах с ударными волнами заметной интенсивности.

Эти и другие недостатки интерферометров, построенных по схеме Майкельсона, по-видимому, и ограничили их применимость в ударно-волновых исследованиях в основном областью эффектов упругого поведения материалов.

В работах [4—6] описан лазерный доплеровский метод измерения скоростей с применением в качестве селектора частот интерферометра Фабри — Перо (ИФП). Этот метод свободен от всех ограничений, присутствующих указанным выше системам. Настоящая работа развивает систему [4] с целью создания непрерывного доплеровского измерителя скорости для газодинамических экспериментов.

Оптическая схема установки приведена на рис. 1. Источник зондирующего света — фотодиссоционный лазер  $I$  на  $C_3F_7I$  ( $\lambda = 1.315$  мкм) излучает импульс длительностью  $\sim 5$  мкс с максимальной мощностью  $\sim 2 \cdot 10^9$  Вт. Применение мощного импульсного лазера практически снимает вопросы, связанные с изменениями отражательной способности

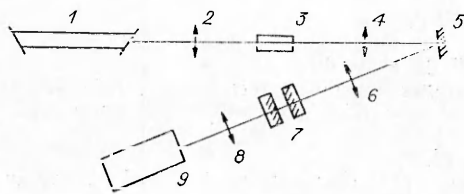


Рис. 1.

кристаллом 3 ДКДР или ДСДА. Линзой 2 излучение лазера фокусируется на кристалл. Плотность мощности излучения внутри кристалла составляет  $\sim 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. Изображение фокуса линзы 2 переносится в преобразованном излучении линзой 4 на поверхность исследуемой мишени 5. Для повышения надежности регистрации в случае перекоса мишени в процессе движения поверхность мишени травлением делалась заведомо диффузно рассеивающей. Рассеянный мишенью свет частично перехватывается цилиндрической линзой 6 и направляется на анализатор спектра ИФП 7.

Интерференционная картина в виде колец равного наклона строится в фокальной плоскости объектива 8 на щели фотохронографа 9. Использование цилиндрической оптики позволяет увеличить плотность засветки щели хронографа, так как в этом случае интерференционная картина строится в виде коротких (сравнимых с шириной щели фотохронографа) штрихов, в пределе — в виде линии точек, совмещенных с времяанализирующей щелью фотохронографа. Выигрыш в плотности мощности излучения, попадающего в фотохронограф, близок к отношению длины полукольца интерференционной картины (в случае сферической оптики) к длине штриха, получаемого с помощью цилиндрической оптики [5].

В данной работе использованы фотохронографы двух типов — высоскоростная камера ВК-12 с оптико-механической разверткой и электронно-оптический фоторегистратор ФЭР-7. Предельная скорость записи сигнала на пленке составляет 10 мм/мкс для ВК-12 и 80 мм/мкс для ФЭР-7. Применение мощного лазера позволило использовать фотохронограф ВК-12, метрологически более точный и позволяющий вести регистрацию более длительно при одной скорости развертки.

Развертка изображения интерференционной картины во времени, регистрируемая фотохронографом, дает непрерывную информацию о спектре излучения, отраженного зондируемой мишенью, поскольку размер интерференционных колец (расстояние точек, вырезанных щелью фотохронографа, от оси симметрии картины) при фиксированных параметрах оптической системы определяется только длиной волны селективируемого интерферометром света. При отражении света от движущейся поверхности, нормаль которой совпадает с осью зондируемого пучка, его частота изменяется в соответствии с соотношением Доплера:  $\Delta\lambda/\lambda_0^2 = 2v/\lambda_0 c$ , где  $\lambda_0 = 0,657$  мкм — длина волны зондирующего излучения;  $v$  — скорость мишени,  $c$  — скорость света в воздухе;  $\Delta\lambda/\lambda_0^2$  — измеряемое смещение длины волны [см<sup>-1</sup>].

Таким образом, развертка во времени спектра излучения, отраженного движущейся мишенью, представляет собой аналоговую запись зависимости скорости зондируемой поверхности от времени.

Абсолютная погрешность измерения скорости таким методом определяется шириной спектра зондирующего излучения и разрешением применяемого ИФП. В данной работе ширина спектра измерялась с помощью ИФП с длиной резонатора 150 мм (с разрешением  $\sim 5 \cdot 10^{-4}$  см<sup>-1</sup>) и оказалась равной  $\sim 3 \cdot 10^{-3}$  см<sup>-1</sup>, что позволяет определять скорость с погрешностью  $\sim 10$  м/с. Следовательно, при измерении скорости  $v > 10^3$  м/с ошибка  $\Delta v/v < 1\%$ .

На рис. 2 приведены характерные фотохронограммы, полученные при зондировании медных мишеней толщиной 0,2 (а) и 1 мм (б), раз-

зондируемой поверхности (в пределах динамического диапазона регистратора).

Для согласования по спектральной чувствительности с фотоприемниками (фотопленками и фотокатодами ЭОП) инфракрасное излучение лазера преобразуется во вторую гармонику ( $\lambda = 0,657$  мкм) нелинейным

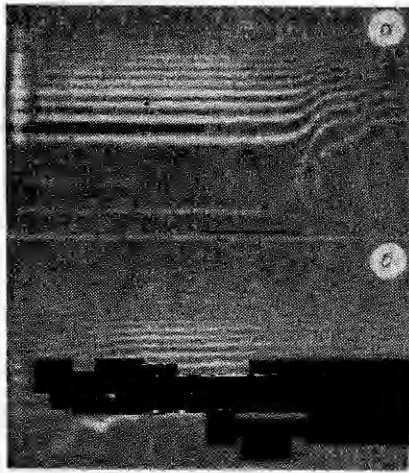


Рис. 2.

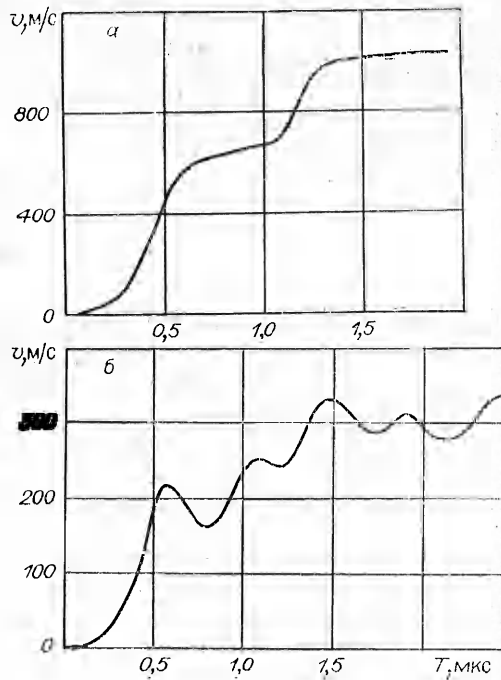


Рис. 3.

гонявшихся электровзрывом алюминиевой фольги, изолированной от мишени слоем оргстекла толщиной 1 мм. Электровзрыв фольги (пластина размером  $16 \times 8 \times 0,04$  мм) происходил при разряде через нее конденсатора ИК 25-12 ( $u = 25$  кВ,  $C = 12$  мкФ). Мишень вместе с фольгой размещалась в разрядном промежутке малоиндуктивного коаксиального разрядника.

Обработка результатов измерений заключалась в оцифровке фотохронограмм и обсчете полученных данных на ЭВМ СМ-4 по программе LDIS с выдачей информации в виде таблиц и графиков зависимостей скорости, перемещения и ускорения поверхности мишени в функции от времени. Результаты обработки фотохронограмм рис. 2 приведены на рис. 3 в виде зависимостей  $v(t)$ . Сравнение фотохронограмм и графиков демонстрирует аналоговый характер фотохронограмм, наглядность и простоту обработки полученных результатов.

На рис. 2 хорошо видно различие в характере разгона мишеней разной толщины волной сжатия, генерируемой при взрыве фольги: плавный разгон тонкой (0,2 мм) мишени с ускорениями одного знака, когда длина волны сжатия превышает толщину мишени (см. рис. 2, а), и колебательный характер разгона толстой (1 мм) мишени, толщина которой превышает длину волны сжатия (см. рис. 2, б). Период зарегистрированных колебаний скорости свободной поверхности толстой мишени хорошо согласуется с оценками, полученными по известной толщине мишени и скорости звука в ее материале.

Результаты проведенных экспериментов демонстрируют, таким образом, возможности описываемого метода для регистрации скорости свободной поверхности тел, ускоряемых взрывом, в том числе и в случае диффузного отражения света зондируемой поверхностью. Несомненными преимуществами метода перед дифференциальным интерферометром являются также простота оптической схемы и ее настройки, помехоустойчивость в условиях взрывного эксперимента и наглядность получаемой информации. Применение мощного лазера позволяет использовать метод в более широком диапазоне изменения отражательной способности поверхности и, следовательно, в более широком диапазоне изменения ударно-волновых параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Barker L. M., Hollenbach R. E. Rev. Sci. Instr., 1965, 36, 1617.
2. Barker L. M., Hollenbach R. E. J. Appl. Phys., 1972, 43, 11, 4669.
3. Златин Н. А., Мочалов С. М., Пугачев Г. С. и др. ЖТФ, 1973, 43, 2, 1961.
4. Ковылов А. Ф., Кормер С. Б., Пинегин А. В. и др. ПТЭ, 1978, 1, 205.
5. Stengel R. F. Des. News, 1980, 36, 16, 68.
6. Chau H. H. e. a. Rev. Sci. Instr., 1980, 51, 12, 1676.

Поступила в редакцию 5/V 1986

## РАЗЛОЖЕНИЕ ТРИНИТРОБЕНЗОЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИИ

Н. П. Логинов, С. М. Муратов, В. Б. Епифанов  
(Куйбышев)

Имеющиеся данные о кинетике разложения твердых веществ при вибрации относятся к тринитротолуолу (ТНТ), перхлорату аммония, коллоксилину [1, 2]. В частности, у ТНТ установлено, что распад протекает с более высокой скоростью при пониженных температурах, меньших его температуры плавления, чем распад в жидкой фазе при  $T = 473$  К.

Цель данной работы — исследование влияния параметров вибрации на степень разложения и скорость реакции в твердой фазе, обнаружение присутствия конденсированных продуктов распада в пробах, оставшихся после вибрации образцов тринитробензола (ТНБ), методами инфракрасной и ультрафиолетовой спектроскопии.

Образец 2 (рис. 1) ТНБ массой 0,1 г помещали между роликами в приборе 3 и устанавливали его в герметичную камеру 4, размещенную на плунжере гидравлического пресса 5, который служил также основанием для вибрационного узла с вибратором 1. Гидропрессом создавали статическую нагрузку, а с помощью вибратора — циклическую нагрузку в течение заданного промежутка времени. В ходе испытаний жидкостным манометром измеряли перепад давления газов в герметичной камере, а термопарами — температуру образца и газа. По окончании вибрационного воздействия из роликовых приборов вынимали остатки образцов и из них отбирали пробы для проведения анализов.

Эксперименты проведены при виброн нагружении с частотами колебаний  $f = 45$  и  $80$  Гц; соответственно амплитуда колебаний составляла 1,1 и 2,5 мм, статическое давление  $p_{ст} = 12,8$  и  $19,2$  МПа, динамические нагрузки  $p_{д} = 37,0$  и  $48,0$  МПа. Из полученных данных (рис. 2, где  $\alpha$  — степень разложения,  $\tau$  — время вибрации) следует, что с повышением  $f$  (и, следовательно,  $p_{д}$ ) степень разложения ТНБ возрастает и за

### Результаты анализа

ТНБ	Отношение интенсивностей				
	700+3 (бензольное кольцо)	900±3	1060+10	1340+5 (-NO <sub>2</sub> )	1440+5 (C=C)
Исходный	1,05 (700)	1,0 (900)	0,87 (1070)	1,06 (1335)	0,13 (1440)
После обработки, с $f = 45$ Гц	1,03 (700)	1,0 (900)	0,92 (1060)	0,15 (1330)	0,15 (1435)
После обработки, с $f = 80$ Гц	1,09 (710)	1,0 (910)	0,95 (1075)	1,50 (1345)	0,12 (1445)

Примечание. В скобках указаны полосы поглощения.