

УДК 535.41

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС VISAR ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ

© 2013 г. А. В. Павленко, С. Н. Малюгина, В. В. Перешитов, И. Н. Лисицина

РФЯЦ-ВНИИ технической физики им. академика Е.И. Забабахина

Россия, 456770, Снежинск Челябинской области, ул. Васильева, 13

E-mail: avpavlenko@vniitf.ru

Поступила в редакцию 10.05.2012 г.

Описан двухканальный лазерно-интерферометрический комплекс, предназначенный для измерения скорости движения поверхностей в ударно-волновых экспериментах, приведены его характеристики. Интерферометрические каналы комплекса построены по схеме двухплечевого интерферометра VISAR. Погрешность измерения скорости от 6 до 15 м/с в диапазоне до 3000 м/с, временное разрешение не хуже 2 нс. Такие характеристики позволяют использовать комплекс в экспериментах на легкогазовых пушках, а также во взрывных экспериментах для определения динамических характеристик конструкционных материалов и кинетики детонации взрывчатых веществ.

DOI: 10.7868/S0032816213020122

Изучение динамических свойств материалов позволяет понять природу упруговязкопластичного деформирования материалов и прогнозировать их поведение в экстремальных ситуациях [1]. Информативным способом исследования динамических свойств материалов при высокоскоростной деформации (скорость деформирования $\dot{\epsilon} > 10^3 \text{ с}^{-1}$) является нагружение образцов исследуемых материалов ударными волнами с последующей регистрацией в них профилей волн напряжений [2]. Для создания ударных волн с хорошо известными параметрами часто используют легкогазовые пушки [3], широкое применение находят взрывные нагружающие устройства [4]. Для регистрации профилей скорости хорошо себя зарекомендовали лазерно-интерферометрические системы VISAR [5], Фабри–Перо [6], ORVIS [7], PDV [8] и их модификации.

Ниже описан двухканальный лазерно-интерферометрический комплекс. Наличие двух каналов с разной чувствительностью позволяет регистрировать скорость с одной или двух точек свободной поверхности. Комплекс используется с 2005 года в экспериментах на одноступенчатой легкогазовой пушке (более 1000 экспериментов) и в экспериментах с взрывными нагружающими устройствами (более 40 опытов). За время эксплуатации все компоненты интерферометра работали без сбоев и поломок.

В состав комплекса (рис. 1) входят лазер, два интерферометрических канала, волоконно-оптическая линия связи, система регистрации интерференционных сигналов, система управления и обработки информации.

Для зондирования исследуемой поверхности используется излучение непрерывного одночастотного одномодового лазера Innolight Diabolo фирмы Innolight (Германия). Технические характеристики лазера: длина волны 532 нм, мощность

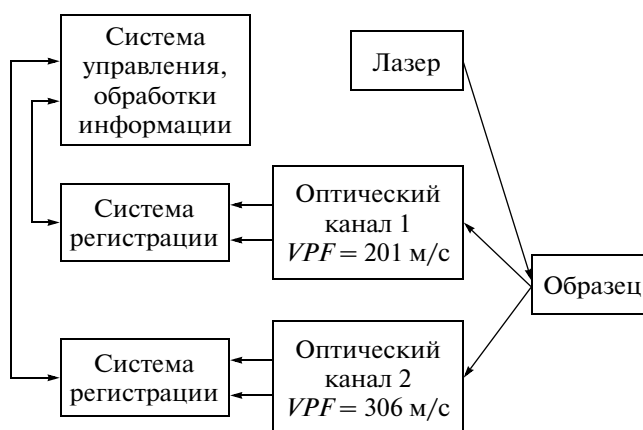


Рис. 1. Структурная схема двухканального лазерно-интерферометрического комплекса VISAR. VPF – постоянная интерферометра.

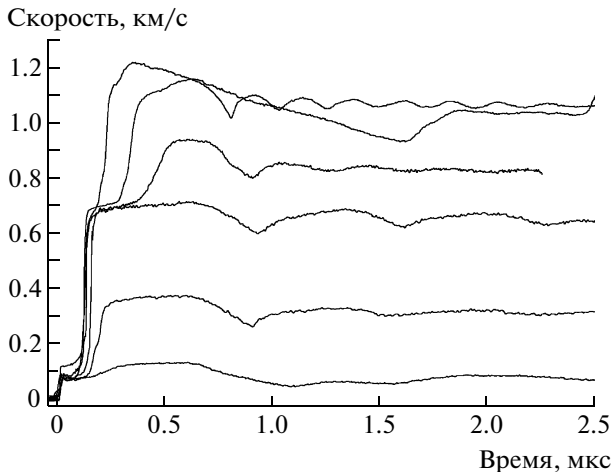


Рис. 2. Профили скорости свободной поверхности, измеренные в опытах с образцами из стали 30ХГСА в экспериментах на одноступенчатой пушке и во взрывном эксперименте ($W_{\max} = 1.2$ км/с).

излучения регулируется в диапазоне от 0.1 до 1 Вт, ширина линии 1 кГц (длина когерентности >1 км), спектральный шум $<0.1\%$.

Лазерное излучение транспортируется по волоконно-оптическим линиям связи (в.о.л.с.), используются в.о.л.с. длиной от 10 до 150 м (производства РФЯЦ-ВНИИТФ). Оптоволоконная линия позволяет разместить комплекс в отдельном от нагружающих устройств помещении.

Оптический канал построен по схеме двухплечевого интерферометра VISAR (push-pull VISAR), предложенной Хемсингом [9]. При этом изготовленные нами интерферометры позволяют регистрировать все четыре квадрупольных интерференционных сигнала. Это дает возможность контроля интенсивности собранного излучения. Метод восстановления профиля скорости свободной поверхности по интерферометрическим данным изложен в [9]. Каналы отличаются длиной и материалом линии задержки и соответственно постоянной интерферометра. Линии задержки (эталон) выполнены из стекла ТФ10 и ТФ5, постоянные интерферометрических каналов (VPF) составляют 201 и 306 м/с. Эталон изготовлен Лыткаринским заводом оптического стекла и РФЯЦ-ВНИИТФ. Используются оптические компоненты фирм CVI, Newport, Linos, Thorlabs.

Система регистрации включает в себя детекторы (быстродействующие ф.э.у.) и цифровые осциллографы. Используются ф.э.у. со следующими характеристиками: время нарастания 0.8 нс, спектральный диапазон 300–900 нм, коэффициент усиления от 10 до 10^6 , максимальный линейный выходной ток 100 мкА. Интерферометрические данные регистрируются четырехканальными

осциллографами с полосой пропускания ≥ 0.5 ГГц. Максимальная частота дискретизации ≥ 2.5 Гвыб/с на 4 канала, диапазон чувствительности 1 мВ–1 В, диапазон разверток по времени 10 нс–400 с. Интерферометр разработан для измерения скорости движения свободной поверхности образцов в ударно-волновых процессах и газодинамических процессах длительностью от десяти наносекунд до десятков миллисекунд.

Система управления и обработки информации, предназначенная для дистанционного управления осциллографами, сбора и обработки информации, построена на основе персонального компьютера с использованием сетевого оборудования на базе витой пары 5 категории.

Оптические каналы и система регистрации размещаются на оптической столешнице, которая установлена через виброизолирующие опоры на металлической подставке. В подставке предусмотрена полка для размещения лазера. Подставка и полка также имеют защиту от вибраций. Столешница с интерферометрами и подставка имеют съемные светонепроницаемые, пылезащитные кожухи. Габаритные размеры комплекса $1840 \times 700 \times 2035$ мм.

Комплекс имеет следующие технические характеристики: временное разрешение, измеренное с помощью субнаносекундного лазера STA-01SH (Литва), не хуже 2.2 нс; амплитудное разрешение при регистрации скорости до 600 м/с – не хуже 6 м/с; при измерении скоростей до 3000 м/с погрешность измерения не превышает 15 м/с ($<1\%$). Для сравнения, приборный комплекс на базе интерферометра Фабри–Перо, описанный в [6], имеет разрешение по времени не хуже 10 нс, погрешность регистрации скорости <50 м/с.

На рис. 2 приведены профили скорости свободной поверхности, измеренные в опытах с образцами из стали 30ХГСА в экспериментах на одноступенчатой легкогазовой пушке при исследовании откольной прочности и во взрывных экспериментах (на рис. 2 максимальная скорость на профиле $W_{\max} = 1.2$ км/с) при определении параметров многоволновых конфигураций.

Профили волн напряжений хорошо иллюстрируют эволюцию профиля ударной волны при протекании фазового превращения.

Авторы выражают благодарность С.П. Антипинскому, А.В. Уткину, В.И. Таржанову, помогавшим при внедрении приборного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровцев А.В., Коваленко Г.В., Задорожный Г.А. // Тез. докл. Забабахинских научных чтений: сб. материалов VII Международной конференции. Снежинск, 2003. С. 183; <http://www.vniitf.ru/rig/konfer/7zst/reports/s5/5-45.pdf>

2. Pavlenko A.V., Malyugina S.N., Kazakov D.N., Bychkov V.V. // AIP Conf. Proc. 17th SCCM. (Chicago, 2011) 2012. V. 1426. P. 1113; <http://dx.doi.org/10.1063/1.3686474>
3. Златин Н.А., Красильщиков А.Н., Мишин Г.И., Попов Н.И. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях. М.: Наука, 1974.
4. Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин А.Е., Фортков В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. М.: Янус-К, 1996.
5. Pavlenko A.V., Malyugina S.N., Shestakov A.E., Belyaev D.A. et al. // AIP Conf. Proc. 17th SCCM. (Chicago, 2011) 2012. V. 1426. P. 1137; <http://dx.doi.org/10.1063/1.3686480>
6. Андрианов В.П., Бандуркин К.В., Григорьев С.А. и др. // ПТЭ. 2010. № 6. С. 78. (Andrianov V.P., Bandurkin K.V., Grigor'ev S.A. et al. // IET. 2010. V. 53. № 6. P. 846.)
7. Bloomquist D.D., Sheffield S.A. // J. Appl. Phys. 1983. V. 54. № 4. P. 1717.
8. Strand O., Goosman D., Martinez C., Whitworth T. // Rev. Sci. Instrum. 2006. V. 77. P. 083108.
9. Хемсинг В.Ф. // Приборы для научных исследований. 1979. № 1. С. 86. (Hemsing W. F. // Rev. Sci. Instrum. 1979. V. 50. Issue 1. P. 73.)