

ЛАЗЕРНЫЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТР

ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

В авиационно-космическом приборостроении широкое применение находят частотные датчики давления с цифровым выходом. Чувствительный элемент датчика – тонкостенная цилиндрическая оболочка-резонатор [1], от качества ее изготовления в первую очередь зависят точностные характеристики датчиков. Для экспресс-методов контроля качества наиболее эффективно использовать не голографическую [2], а электронную спекл-интерферометрию.

Практика применения голографической интерферометрии для контроля качества резонаторов, однако, имеет определенные недостатки: необходимость создания фактически лабораторных условий, громоздкость оборудования, сложность методики исследований и трудность получения результатов контроля и измерения в реальном масштабе времени.

В этой связи особого внимания заслуживают методы спекл-интерферометрии [3]. Среди них для экспресс-анализа цилиндрических резонаторов особенно интересны методы электронной спекл-интерферометрии. Они дают возможность наблюдать (практически в реальном времени) интерференционную картину колеблющегося объекта на экране телемонитора, минуя какой-то промежуточный носитель информации. Нужно отметить, что качество электронных спекл-интерферограмм (отношение сигнал/шум, уровень контраста) существенно уступает картинам, получаемым голографическими методами.

Настоящая работа посвящена особенностям разработки информационно-измерительной системы (ИИС) на базе электронной спекл-интерферометрии и получению нужного качества спекл-интерферограмм при контроле зеркально отражающей поверхности цилиндрических резонаторов в режиме экспресс-анализа.

Для использования преимуществ электронной спекл-интерферометрии и достижения нужного качества интер-

ференционных картин, близкого к качеству голографической интерферометрии, была разработана лазерная система контроля резонаторов, основанная на анализе спекл-интерферограмм собственных колебаний резонаторов [4]. Основа системы контроля – электронный корреляционный спекл-интерферометр, интерференционная картина в котором формируется в памяти компьютера системы, связанного с видеокамерой, установленной в выходном плече интерферометра.

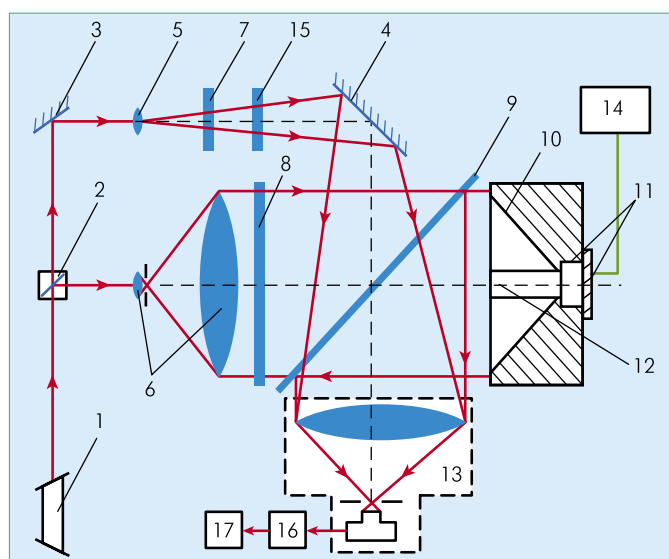


Рис. 1 Схема спекл-интерферометра с ПК-регистрацией интерферограмм

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Структурная схема электронного спекл-интерферометра с компьютерной (ПК) регистрацией интерферограмм, контролирующего резонаторы путем наблюдения форм колебаний их собственных частот, показана на рис.1.

Интерферометр имеет: источник когерентного излучения – лазер (1); светоделитель (2), делящий лазерный луч на две равные части; два зеркала (3) и (4) с коэффициентом отражения, близким к 1; короткофокусную линзу (5) для формирования опорной световой волны; коллиматор (6) из двух линз с совмещенными фокусами для формирования излучения предметного тракта; нейтральный ослабитель света (7) для подбора отношения интенсивностей предметного и опорного трактов; диффузное стекло (8) с шероховатой поверхностью для формирования на поверхности цилиндрического резонатора требуемых спеклов; полупрозрачное зеркало (9) с коэффициентом отражения 0,5 для направления световой волны опорного тракта и света, отраженного от поверхности резонатора, на фоторегистратор; коническое кольцевое зеркало (10) подсветки с углом 90° при вершине конуса. Кроме того интерферометр имеет узел (11) для крепления цилиндрического резонатора (12), сопряженный с основанием меньшего диаметра кольцевого зеркала (10). При этом геометрическая ось резонатора совмещена с оптической осью кольцевого зеркала. Для того чтобы освещать всю поверхность резонатора (12), размер основания конического зеркала (10), имеющего больший диаметр (D_{\max}), должен удовлетворять условию:

$$D_{\max} \geq d + 2 \cdot l,$$

где d – диаметр, а l – длина резонатора.

Для регистрации интерферограмм используется видеокамера (13). Электрическая часть (14) системы контроля содержит автогенератор, частотомер и контрольно-измерительные приборы. Цилиндрический резонатор (12) имеет расположенные внутри него две электромагнитные катушки (возбуждения и съема данных) с полюсами, развернутыми на 90° относительно друг друга. При этом катушка возбуждения резонатора включена в цепь положительной обратной связи автогенератора для возбуждения колебаний на резонансной частоте в режиме автогенерации.

Для регистрации, обработки и отображения получаемой интерферограммы (кроме видеокамеры 13) используются ПК (16) и монитор (17).

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРА

ИИС работает так. В резонаторе (12) на основной частоте возбуждаются собственные колебания (частота и форма сигнала возбуждения при этом контролируются приборами электрической части 14). Затем резонатор освещается лучом лазера (1), отраженным от делителя света (2) и прошедшим через

коллиматор (6), диффузное стекло (8) и полупрозрачное зеркало (9). Диффузное стекло (8) создает спекл-структуру освещения зеркальной поверхности резонатора. Полученный параллельный пучок света поступает на коническое кольцевое зеркало подсветки (10), а затем на поверхность резонатора, освещая его поверхность пространственно во всем диапазоне ($0-360^\circ$). Отраженный от поверхности резонатора (12) свет возвращается на коническое зеркало (10), имеющее угол при вершине конуса 90° , которое направляет его с тем же самым световым диаметром на полупрозрачное зеркало (9), а далее он поступает на видеокамеру (13). Сюда же поступает световой пучок опорного тракта, сформированный оптическими элементами (3–5–7–4). В результате взаимодействия опорной световой волны со световым распределением, сформированным изображением поверхности резонатора, отображаемым в зеркале (10), возникает интерферограмма механических колебаний поверхности исследуемого резонатора, фиксируемая светочувствительным элементом видеокамеры. Она несет в себе информацию о распределении амплитуд и фаз, узлов и пучностей собственных колебаний поверхности резонатора, представляя их совокупностью интерференционных полос. Рассеянное резонатором излучение вводится видеокамерой в ПК.

На экране видеомонитора наблюдается сфокусированное спекл-изображение конического зеркала с резонатором, которое складывается с однородным фоном, образованным опорным пучком. Объектив видеокамеры диафрагмируется до величины $F = 18-22$, позволяющей на экране монитора различать отдельные спеклы приемлемых размеров (~ 15 мкм). Это можно осуществить, например, с помощью видеокамер типа BOSCH TYC 9A, которые обеспечивают ввод 625×525 точек изображения с 256 градациями яркости.

Если резонатор колеблется на одной из основных частот, то усредненное по времени ввода кадра распределение интенсивности описывается выражением [3]

$$I_n(x,y) = K \{ \langle I_o(x,y) \rangle + \langle I_n(x,y) \rangle + 2 \langle I_o(x,y) \rangle \times \langle I_n(x,y) \rangle^{1/2} \times J_0^2 \{ (4\pi/\lambda) \cdot A(x,y) \cdot \cos[\Theta_o(x,y) - \Theta_n(x,y)] \} \}, \quad (1)$$

где K – постоянный коэффициент, зависящий от параметров видеокамеры и системы ввода изображения в ПК; $\langle I_o \rangle$ и $\langle I_n \rangle$ – усредненные интенсивности опорного и предметного пучков в точке изображения объекта с экранными координатами (x,y) ; J_0 – функция Бесселя первого рода нулевого порядка; A – амплитуда колебаний точки объекта; λ – длина волны излучения лазера; Θ_o и Θ_n – фазы опорного пучка и спекла во входной плоскости видеокамеры, соответственно.

Интенсивность спеклов в наблюдаемом изображении меняется в соответствии с изменением функции Бесселя J_0 в зависимости от амплитуды колебания резонатора. Однако контраст их достаточно низок, поэтому спеклы заметны лишь

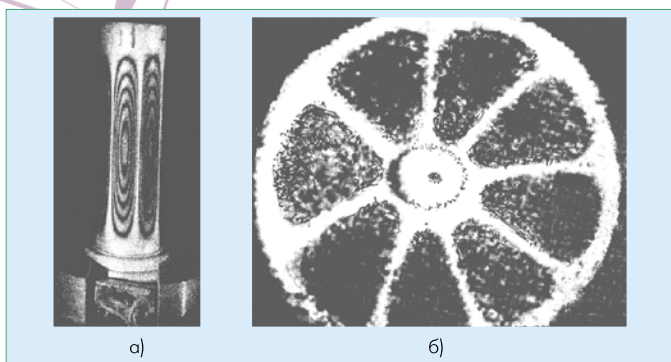


Рис.2 Голографическая и спекл-интерферограммы одного и того же колеблющегося резонатора

в областях изображения, близких к узловым линиям, где функция $J_0 \approx 1$. Сказанное подтверждается рис.2, где представлены полученные голографическая и спекл-интерферограммы одного и того же резонатора на основной частоте колебаний. На рис.2б видно, как за счет конусного зеркала преобразуется форма колебаний.

УЛУЧШЕНИЕ КОНТРАСТА СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОГРАММ

Низкий контраст спекл-интерферограмм – одна из основных проблем при создании измерительных средств на базе спекл-интерферометрии. В существующих схемах спекл-интерферометров этот контраст определяется случайными скачками фаз спеклов, неоднородностью характеристик поверхности объекта, параметрами видеокамеры и спекл-шумами опорного тракта. Все это в итоге осложняет обработку спекл-интерферограмм и снижает объективность результатов дефектоскопии и анализа напряженно-деформированного состояния исследуемого объекта. Для решения этих проблем есть два пути: алгоритмический, связанный с надлежащим синтезом спекл-интерферограмм, и аппаратный, связанный с оптимизацией схем построения интерферометров [3]. В разработанной ИИС использованы оба пути. Нужный результат достигнут путем включения в схему регулируемых диафрагм и фазосдвигающего элемента (15).

Для получения контрастной интерференционной картины изображение спекл-интерферограммы, соответствующее выражению (1), заносится в память ПК. Фаза опорного пучка сдвигается элементом (15) на 180° . На экране монитора при этом наблюдается второе изображение, аналогичное перво-

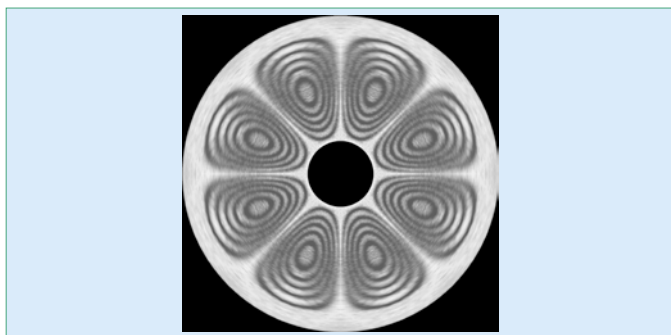


Рис.3 Спекл-интерферограмма колеблющегося резонатора, полученная с помощью ИИС

му, но на месте "светлых" спеклов размещаются "темные" и наоборот. Это второе изображение вычитается по модулю из первого, хранящегося в ПК. В результате на экране монитора наблюдается контрастное изображение интерференционной картины:

$$I_n(x,y) = 4K[\langle I_0(x,y) \rangle - \langle I_n(x,y) \rangle]^{1/2} \times J_0^2 \{ (4\pi/\lambda) \cdot A(x,y) \cdot \cos[\Theta_0(x,y) - \Theta_n(x,y)] \}. \quad (2)$$

Из (2) видно, что интерференционные полосы аналогичны полосам, наблюдаемым по голографической интерферограмме [3].

На рис.3 приведена одна из полученных (с помощью разработанной ИИС) спекл-интерферограмм колеблющегося на рабочей частоте резонатора. На ней видны достаточно четкие интерференционные полосы, которые различаются даже в пучностях форм колебаний.

Для дальнейшего улучшения контраста спекл-интерферограмм применялся пятишаговый фазосдвигающий алгоритм синтеза спекл-интерферограмм [5] с подбором максимального коэффициента видности [3] за счет помещения регулируемой диафрагмы в фокус оптической системы видеокамеры [6]. Эти методы решения проблемы дали положительные результаты.

Используя существующую процедуру обработки интерферограмм, можно из интерференционной картины извлечь данные об амплитуде колебаний каждой точки поверхности резонатора, а по изменению формы интерференционных полос – дефекты различного вида: неравномерность толщины стенки в радиальном и осевом направлениях, вмятины, неоднородные включения и другие дефекты. Весь процесс получения информации при этом существенно упрощается, так как интерферограмма формируется и хранится непосредственно в ПК и не нужно восстанавливать и вводить изображения, что позволяет проводить оценку качества резонаторов в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах / Под ред. А.С.Яроменка. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200с.
2. Суминов В.М., Панфилова Е.Е., Шанин В.И. Интерференционно-голографический контроль резонаторов частотных датчиков давления. – Дефектоскопия, 1983, № 9, с.91.
3. Джоунс Р., Уайкс К. Голографическая и спекл-интерферометрия. – М.: Мир, 1980. – 328с.
4. Шанин В.И., Шанин О.В., Кравцов В.Г. Устройство для определения годности цилиндрических резонаторов частотных датчиков давления. – Патент РФ № 2245527, 2005. Бюл. № 3.
5. Шанин В.И., Шанин О.В. К вопросу повышения контраста спекл-интерферограмм при решении задач контроля. – Науч. труды МАТИ. Вып.9 (81). – М.: ИЦ МАТИ, 2005, с.136.
6. Шанин В.И., Шанин О.В., Кравцов В.Г. Устройство для определения годности цилиндрических резонаторов частотных датчиков давления. – Патент РФ № 2315963, 2008. Бюл. № 3.



В "Экспоцентре" на Красной Пресне с 26 по 31 мая 2008 года проходила 10-я международная выставка "Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности", организованная Российской Ассоциацией "Станкоинструмент". Выставка проводилась под патронатом ТПП РФ при поддержке Министерства промышленности и торговли РФ и Правительства Москвы. Выставка собрала около 750 экспонентов (из них российских около 400).

В ней приняли участие представители из 31 страны: Австралии, Белоруссии, Бельгии, Болгарии, Великобритании, Германии, Дании, Индии, Испании, Италии, Китая, Латвии, Нидерландов, Польши, Республики Корея, России, Румынии, Сербии, Словакии, Словении, США, Тайваня, Турции, Украины, Финляндии, Франции, Чешской Республики, Швейцарии, Швеции, Эстонии и Японии.

Этот форум проводится с 1984 года раз в два года (по четным годам) и за это время приобрел мировую известность. Он представляет базовую отрасль, обеспечивающую прогресс практически во всех других отраслях экономики, и является индикатором ее состояния. Выставка отражает мировые тенденции развития отрасли и по масштабам и коммерческой результативности входит в десятку ведущих европейских промышленных смотров.

Чем эта выставка может быть интересна для читателей журнала "Фотоника"? Видимо, тем, что современные методы металлообработки немислимы без использования лазеров. Они стали тем рабочим инструментом, который осуществляет раскрой, резку и сварку металлических листов и даже плит толщиной в несколько сантиметров, наваривание слоев металла, нанесение металлических покрытий и даже используются для изготовления объемных металлических моделей. Материалы об этом вы найдете в нашем журнале (№3,4,5 –2007, №2,3 – 2008).

В этом микрообзоре мы не собираемся охватить представленные металлообрабатывающие компании в целом – это просто невозможно, а попытаемся представить некоторые из них, занимающиеся металлообработкой с помощью лазеров.

Компания TRUMPF Laser GmbH+Co. KG (Германия) – одна из них. Она является крупнейшей в Европе частной компанией и имеет 45 дочерних предприятий в 23 странах мира: 15 заводов, производящих оборудование, а также предприятия, осуществляющие продажу и сервисное обслуживание своего оборудования. Одно из дочерних предприятий создано теперь и в России. TRUMPF обслуживает пять различных направлений, включающих лазерные технологии обработки и медицинское оборудование. В этом номере мы публикуем интервью с исполнительным директором TRUMPF Laser Technology Division Йенсом Блеером, где читатели могут более подробно ознакомиться с лазерной продукцией компании. На реклам-

ном блоке (с.5) представлена известная система с дисковыми лазерами TruDisk 6002 (6 кВт, в этой серии 4 системы мощностью 2, 4, 6 и 8 кВт).

Компания Scansonic (Германия) разрабатывает и производит специальные системы для лазерной сварки/пайки металлов твердотельными, диодными и волоконными лазерами. Модульные обрабатывающие головки "Скансоник" для сварки и пайки тонколистовых металлов – самые современные в этой области. Кроме того компания предлагает адаптивную платформу наведения на стык для используемых в промышленности электродугowych способов сварки и спайки.

Компания Lasag (Швейцария) продемонстрировала свое лазерное оборудование для обработки материалов на основе промышленных Nd:YAG-лазеров, где она является одним из мировых лидеров.

Компания "Лазерные Комплексы" (Шатура) представила здесь свои системы лазерной резки и раскроя на CO₂-лазерах мощностью 1–2 кВт, пользующиеся спросом не только в России, но и за рубежом.

Наиболее широко наши лазерные компании были представлены в секторе систем лазерной маркировки. Здесь, в частности, были:

"Лазерный центр" (С.-Пб), его продукция – системы лазерной механической и электрохимической маркировки знакома читателям по публикации в нашем журнале (№3, 2007);

"Центр лазерных технологий" (С.-Пб) представил аналогичные системы "Д-Марк" и "БетаМарк" для лазерной маркировки промышленных изделий и гравировки;

Компания "Сканер Плюс" (Москва) представила такое же современное лазерное компактное оборудование небольшой мощности для маркировки, сварки, резки и координатной прошивки отверстий.

К сожалению, нашим компаниям, специализирующимся в области маркировки и гравировки, не хватает пока сил и возможностей, чтобы конкурировать в этой области с такими компаниями, как, например, Dr. Teschauer AG (Германия), которая демонстрирует широкую гамму глубоко проработанных систем для лазерной маркировки – как автономных, так и встраиваемых в производственные и монтажные линии, а также набор маркировочных узлов и других комплектующих. Этого могли бы достичь и наши компании, если бы они (или некоторые из них) объединили свои усилия, чтобы быть конкурентоспособными.

На выставке были и оптические компании (например, компания "Карл-Цейсс"), демонстрирующие оптические измерительные устройства и системы, без которых машиностроение не может обойтись.

Н.Слепов, nslepov@online.ru