

УДК 535

В.Н. ИЛЬЧЕНКО, С.В. ОКОЧА

Национальный авиационный университет, Киев, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛАЗЕРНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Рассматриваются вопросы оптимизации контроля геометрических параметров изделий сложной формы, построения математической модели лазерной измерительной системы.

лазерная измерительная система, лазерное зондирование, измерение геометрических размеров, бесконтактный метод измерения

Введение

В современных условиях развития промышленного производства Украины актуальной является проблема измерения геометрических размеров деталей и сложных пространственных поверхностей с заданной точностью. Области практической деятельности, где возникают подобные задачи, многообразны. Для успешного решения многих измерительных задач в разных сферах науки и техники необходимо иметь точную количественную информацию о геометрических размерах, форме и пространственном положении различных объектов. К таким задачам можно отнести контроль формы деталей и геометрических параметров технологических процессов в машиностроении. Знания точной информации об объекте измерения необходимы, как при производстве машин, так и в метрологии, в технике неразрушающего контроля.

Постановка задачи

Построить математическую модель процесса измерения высокоточных авиационных деталей. Разработать функциональную схему использования лазерной измерительной системы.

Решение задачи

Использование сканирующих лазерно-оптических систем – это один из перспективных совре-

менных способов получения точной трехмерной информации об объекте или совокупности объектов. Основными требованиями к современным средствам размерного контроля являются высокая точность (погрешность до 2 мкм), быстроедействие (10^{-3} с), возможность быстрого перехода на другие типоразмеры. На базе персональных компьютеров измерительные системы должны быть полностью автоматическими (с регистрацией, отображением, документированием и сохранением результатов измерений в базе данных и передачей их по компьютерной сети).

Принцип построения таких систем несложен. Точный лазерный измеритель, сопряженный с устройством сканирования, позволяет «просмотреть» поверхность объекта точка за точкой и получить для него массив измерений. Компьютерная обработка полученных данных позволяет определить геометрические параметры и форму объекта.

Измерительный оптический комплекс включают в себя набор оптоэлектронных измерительных головок, электронный блок, лазерный сканирующий оптико-механический блок, современный компьютер и развитое специализированное программное обеспечение для контроля геометрии изделий сложной формы. Сканирующий блок имеет в своем составе координатный и поворотный столы, в качестве поворотного стола используется координатный стол

АР-400, который обеспечивает контролируемое перемещение объекта измерения в поле зрения опто-электронного измерительного блока в направлении координат X и Y . Точность позиционирования составляет $2 \cdot 10^{-6}$ м.

Сканируя по поверхности объекта получаем данные об интенсивности света $I(x, y)$.

Когерентная система существенно нелинейная относительно интенсивности света I в отличие от некогерентной системы.

Для когерентной системы имеем:

$$I = |h(x, y) * A(x, y)|^2; \quad (1)$$

а для некогерентной системы

$$I = |h(x, y)|^2 * |A(x, y)|^2, \quad (2)$$

где $h(x, y)$ – функция рассеивания точки, которая зависит от апертуры оптической системы, $A(x, y)$ – комплексная амплитуда напряженности поля световой волны.

Для когерентной системы

$$I = (a^2 / 2) \sin^2(2ub) [1 + \cos(4\pi ux + 2\phi)]. \quad (3)$$

Для некогерентной системы

$$I = (a^2 / 2) [1 + \sin^2(4ub) \cos(4\pi ux + \phi)], \quad (4)$$

где $\sin c(y) = \sin(\pi y) / (\pi y)$.

Используем определение контраста изображения в виде

$$V = I_{\max} - I_{\min} / I_{\max} + I_{\min}, \quad (5)$$

согласно с (3), (4) является очевидным преимуществом когерентной системы по величине контраста изображения в $K = 1 / [\sin^2(4ub)]$ раз.

Также, зондируя контролируемую поверхность пучком лучей лазера в радиальном направлении и измеряя координаты отраженных от поверхности пучков, после сопоставления с расчетными значениями координат можно получить все необходимые сведения о дефектах поверхности.

Отразившись от контролируемой поверхности детали, пучок лазера поступает на растровый опти-

ко-электронный координатор. Информация о координате заключена в изменении разности фаз сигналов измерительной и опорной ветвей. Призмная система координатора разносит пучки по взаимно перпендикулярным осям, формируя одновременно измерительную и опорную ветви.

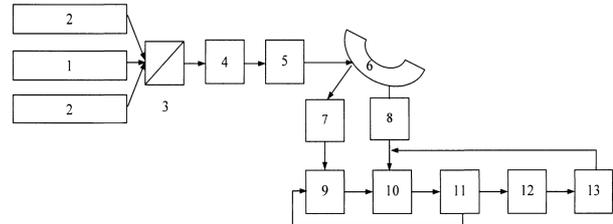


Рис. 1. Функциональная схема устройства, осуществляющего контроль с помощью метода лазерного зондирования

Схема содержит оптическую измерительную систему 1,2 типа LMS-100, светоделительный кубик 3, электрооптический преобразователь 4, электрооптический кристалл 5, объект измерения 6, оптические фильтры 7, фотоприемник 9, компьютер 12, аналого-цифровой преобразователь и цифро-аналоговый преобразователь 13.

Такая схема измерения обладает повышенной чувствительностью и исключает частотную составляющую погрешности измерений.

Достоинствами метода лазерного зондирования контролируемых поверхностей являются: использование бесконтактного метода измерений, позволяющего с высокой точностью (до единиц угловых секунд и до единиц микрометров) определять искомые угловые и линейные значения; возможность автоматизации процесса измерений; возможность проведения измерений в условиях цехов и заводских лабораторий.

В памяти ЭВМ находится информация о расчетных значениях положения луча. ЭВМ сопоставляет полученную информацию с информацией о расчетных значениях, преобразует разность значений к виду угла отклонения нормали для данной координаты, подает команду для разворота детали.

Изменение значений разности фаз сигналов с фазометров при вращении детали говорит о дефектах формы контролируемой поверхности.

В последние годы вырос интерес к проблеме автоматизации технологических процессов обработки, к финишным операциям доводки точных авиационных деталей. Цель применения систем автоматического управления точностью измерений – уменьшить отклонения от заданных размеров и формы обрабатываемых поверхностей.

Чем больше факторов, влияющих на форму деталей, будут учитываться системой управления, тем полнее будет информация, используемая для прогноза, тем меньше будет ошибка. Однако увеличение числа учитываемых факторов усложняет систему управления, делает ее менее надежной и менее управляемой.

Безошибочное предсказание размеров и формы высокоточных авиационных деталей возможны лишь в том случае, когда известны все причины, порождающие отклонения размеров. В реальных условиях практически все факторы, порождающие отклонения размеров, изменяются в процессе обработки поверхности случайным образом.

При использовании численных методов оптимизации для решения технических задач со многими переменными параметрами необходимо проводить большой объем вычислений. Поэтому внедрение методов оптимизации стало возможным после создания высокопроизводительных компьютеров. Вместо стандартных программ реально использовать пакеты программ, включающие в себя библиотеку различных алгоритмов для определения параметров процесса, вспомогательные и управляющие программы, организующие на ЭВМ процесс оптимизации.

Заключение

Использование компьютерной лазерной измерительной системы позволяет повысить точность и

производительность измерений, автоматизировать процесс измерений высокоточных деталей. Объективность и оперативность контроля дают возможность повысить качество изделий. Система может применяться в цеховых условиях.

Измерения проводятся автоматически и их результаты отображаются на экране монитора или в печатном виде в реальном масштабе времени, исключается субъективный фактор при проведении и обработке результатов измерений.

Литература

1. Застрогин Ю.Ф. Прецизионные измерения параметров движения с использованием лазера. – М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
2. Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения. – М.: МГТУ им. Баумана, 2001. – 352 с.
3. Оптико-электронное устройство бесконтактного контроля геометрических параметров ТВЭЛ / В.А. Белоглазова, О.И. Битюцкий, А.А. Гущина и др. // Автометрия. – 2004. – 40, № 2. – С. 82.
4. Васин А.С., Колочкин В.Я., Метелкин А.И., Мосягин Г.М. Лазерный измеритель объектов // Вестник МГТУ. Серия Приборостроение. – 1992. – № 2. – С. 81-87.
5. Оптоэлектронные микропроцессорные системы для измерений геометрии протяженных изделий / Рав.М. Галиулин, Риш.М. Галиулин, Ж.М. Бакиров и др. // Кабельная техника. – 1995. – № 6. – С. 36.
6. JSCTVEL nuclear fuel for power and research reactors. – М.: Russian business agency, 2001. – 340 p.
7. Taguchi A., Miyoshi T., Takaya Y., et al. 3-D micro-profile measurement using optical inverse scattering phase method // Ann. CIPR. – 2000. – 49, N1. – P. 423.

Поступила в редакцию 22.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.И. Костюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.