



В.Н. Белопухов, М.Ю. Грачев, М.В. Лесников, О.А. Заякин, Ю.О. Понявин

ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ ЛАЗЕРНОГО КРУГЛОМЕРА

(ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»)

Представленный здесь лабораторный макет лазерного кругломера мог бы быть полезен студентам системотехнических и метрологических специальностей. Он представляет собой пример разработки, начиная от постановки задачи и заканчивая анализом метрологических характеристик.

Задача состоит в контроле отклонений от круглости рабочей поверхности внутреннего кольца подшипника (рис. 1) [1]. Параметры контроля – отклонение от круглости и волнистость (таблица 1, рис. 2) [2]. Имеются требования к кругломеру (таблица 2) [1], [3]. Они основаны на контактном методе.

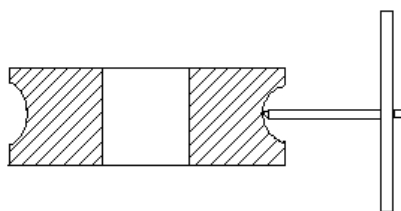
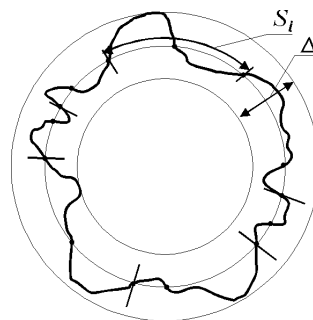


Рис. 1. Контроль отклонений от круглости



S_i - длина волны; Δ - некруглость

Рис. 2. Параметры отклонений от круглости

Таблица 1. Допуски круглости и волнистости дорожек качения колец

$d, D, \text{мм}$ Св. 10 до 18	Внутреннее кольцо						Наружное кольцо					
	Категория В			Категория А			Категория В			Категория А		
	Класс точности											
	0	6	5	5	4	Т и 2	0	6	5	5	4	Т и 2
	мкм, не более											
круглость	1,6	1,2	1	0,8	0,5	0,3	2	1,6	1,2	1	0,8	0,5
волнистость	0,2	0,16	0,12	0,1	0,08	0,05	0,25	0,2	0,16	0,12	0,1	0,08

Примечание – d, D – диаметр посадочного места, для внутренних колец d это отверстие, для наружных D – внешний диаметр. Категории введены условно.

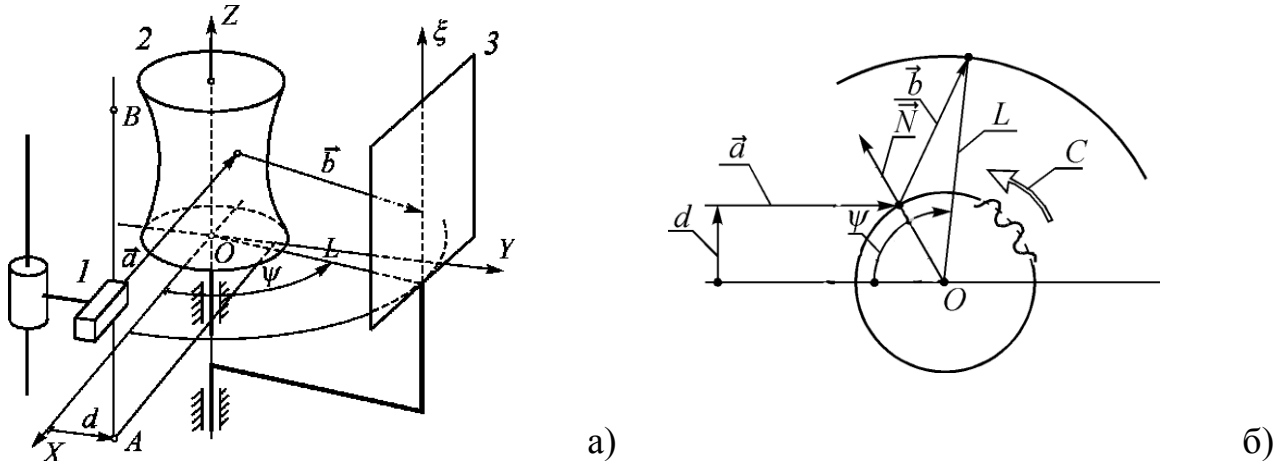
Таблица 2. Допускаемые погрешности прибора

Класс точности прибора	Допускаемая погрешность, мкм	
	радиальная	осевая
1	$0,05 \pm 0,0005h$	0,08
2	$0,12 \pm 0,0012h$	0,15

Примечание – h - высота щупа над уровнем подставки под деталь (см. рис. 1).



В макете использован оптический метод (рис. 3), предложенный в Самарском филиале Физического института РАН [4]. Он состоит в дискретном сканировании узким сфокусированным лучом лазера по радиальному профилю контролируемой поверхности, регистрации пространственных координат этого луча, отраженного от контролируемой поверхности, на координатно-чувствительном фотоприемнике и записи их в память компьютера с последующим анализом данных со всего профиля.



1 - источник излучения; 2 - контролируемая поверхность; 3 - видеокамера; АВ, С - направления сканирования; \vec{a} , - падающий и \vec{b} - отраженный лучи света; ψ , ξ - координаты точки падения отраженного луча на фотоприемник; d - смещение источника излучения; L - радиус поворота каретки с видеокамерой.

Рис. 3. Оптико-механическая схема координатных измерений

Если при сканировании луч лазера попадет на участок поверхности с другим локальным наклоном, чем предыдущий, это вызовет смещение светового зайчика от отраженного луча на фотоприемнике. Это похоже на датчик волнового фронта Шака-Гартмана. Они очень чувствительны (до $\lambda/1000$). При малых отклонениях от круглости (до 0,0001 от среднего радиуса профиля) эта зависимость практически линейна. Чувствительность зависит от направления изменения этого локального наклона в пространстве. Также присутствует слабая зависимость и от локального радиуса. Так что первичный преобразователь представляет собой реальное дифференцирующее звено - малые в плане поверхности неровности прибор чувствует лучше.

Функция преобразования получена, исходя из физического приближения лучевой оптики, в параксиальном приближении и без учета поперечной ширины пучка света [5]. Это алгебраическая связь компоненты Фурье-спектра искомой круглограммы с компонентами Фурье-спектра той же пространственной частоты двух функций – ψ и ξ от той же полярной координаты, что и круглограмма. Средний радиус и средняя конусность радиального профиля связаны алгебраической зависимостью со средними величинами ψ и ξ по данному профилю.

В данной новейшей версии кругломер уже достигает требуемого пространственного разрешения $2\pi R/(4N)$, где R - средний радиус радиального



профиля, N - номер максимальной пространственной гармоники спектра круглограммы ($N = 500$). Использован лазерный диод с $\lambda = 405$ нм (фиолетовый свет). (Параметр Δ соответствует N со 2 по 500, волнистость W – с 16 по 500.)

Это обеспечивает коллимированность отраженного лазерного пучка. Как показывает волновая теория света, максимальная кривизна в поперечном сечении лазерного пучка не должна существенно превышать максимальную кривизну контролируемой поверхности. Тогда, вне зависимости от кривизны угол расходимости отраженного пучка будет отличаться, максимум, в пять раз.

Составленная одним из авторов специальная программа на MathCad'e рассчитывает параметры зондирующего лазерного пучка. Входные параметры: максимальный радиус кривизны контролируемой поверхности, R , d и L , λ , фокусное расстояние линзы, фокусирующей параллельный лазерный пучок на контролируемую поверхность. Рассчитываемый параметр – диаметр диафрагмы, ограничивающей лазерный пучок по его поперечной ширине.

Аппаратный комплекс средств автоматизации построен на основе компьютера IBM PC. Для интерфейса использованы адаптеры под шину ISA.

Система содержит адаптер-контроллер для управления тремя шаговыми двигателями широтно-импульсной модуляции (ДШИ-200-3-3), обеспечивающими дискретность поворота 200 шагов на оборот.

Имеется также адаптер для датчика угла поворота BE-175A с дискретностью 1024 отчета на оборот. На него же поступают сигналы с концевых выключателей и пульта управления, установленного на оптико-механическом блоке (рис. 4). Эти адаптеры были разработаны в СФ ФИАН. Их простота и имеющиеся в наличии принципиальные схемы и драйверы с исходными кодами позволяют студентам глубже изучить организацию работы прибора.



Рис. 4. Общий вид оптико-механического блока

Для достижения требуемой дискретности использованы подвижки с редукторами. Линейная подвижка обеспечивает шаг 2,5 мкм. Дискретность поворота каретки с фотоприемником $0,07^\circ$, датчика угла поворота – $0,038^\circ$. Редуктор на подвижке разворота контролируемой детали имеет передаточное отношение 1/15,62. Для обеспечения дискретности 2000 шагов на оборот в про-



грамме сбора данных использованы равномерно расположенные пропуски шага. Редуктор передает вращение на угловую подвижку, качество которой позволяет достичь кругломеру требуемых точностных характеристик.

Для ввода изображения в компьютер использован фрейм-граббер DigitEye BW-03VSR («Кандела», Москва) с черно-белой видеокамерой «Mintron MTV-271 B/W» («Mintron Enterprises, США). Оцифровываемый кадр имеет размер 3,3X3,3 мм, 64 уровня серого. Темп ввода кадров в компьютер – 6 в секунду.

В приборе имеются программы сбора данных и обработки данных. Они работают под операционной системой Windows XP. Первая из них написана на TurboC++ Enterprise Edition, ver. 4.0, вторая – на Delphi7 (Borland Int., США). Они позволяют получить Δ , W , круглограмму и ее Фурье-спектр.

Дополнительная программа облегчает статистический анализ результатов измерений. Она обрабатывает при своем запуске целиком серию однотипных файлов, полученных программой сбора данных, где записаны ψ и ξ на каждом шаге сканирования, а также d , L , N . Программа делает те же расчеты Δ для каждого файла. Затем она их статистически обрабатывает по стандартной методике [6] и выводит статистическую оценку случайной составляющей погрешности, наряду со статистическим рядом измерений и гистограммой.

Разработанный комплекс позволяет эффективно его использовать в учебном процессе студентов соответствующих специальностей. Более коротковолновый источник излучения и более качественная механика дают возможность разработчикам достичь требуемых точностных характеристик.

Литература

1. Методика измерения отклонений от круглости и шероховатости поверхности деталей подшипников качения: Руководящий документ РД 37.006.106.90. – Согласован; введ. 2000-06-01; срок действия до 2007-01-01. – М.: НПО ВНИПП, 1990 - 40 л.

2. Подшипники качения. Допуски круглости и волнистости поверхностей качения подшипников категорий А и В: Руководящий документ РД ВНИПП.013-00. Введ. 2000-06-01; срок действия до 2007-01-01. – М.: НПО ВНИПП, 2000. – 15 л.

3. ГОСТ 28187-89. Отклонения формы и расположения поверхностей. Общие требования к методам измерений. – Введ. 1989-07-01 - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 19 с. – (Основные нормы взаимозаменяемости).

4. Пат. 2109250 Россия, МПК ⁶G 01 В 11/24. Способ измерения геометрической формы тел вращения с отражающей поверхностью / Белопухов В. Н., Бесталанный С. И., Заякин О. А. (Россия); Заявитель и патентообладатель Самарский филиал ФИАН. - № 95100536/28 (001062); Заявл. 12.01.1995; Опубл. 20.04.1998, Бюл. № 11.

5. Заякин О.А. Получение профилей и контурных картин поверхностей вращения способом триангуляции с использованием зеркально отраженного излучения, алгоритмы и расчетные формулы // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки, 2007. – №2 (15). – с. 95 – 101