

## УСТАНОВКА АБСОЛЮТНЫХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОБРАЗЦОВЫХ И УСТАНОВОЧНЫХ КОЛЕЦ

В условиях высокой конкуренции технолог на современном машиностроительном производстве вынужден искать различные способы решения проблемы снижения себестоимости изделий. Одно из возможных направлений его работы – снижение времени и затрат на измерения и контроль готовой продукции.

Носителями единицы измерения длины на производстве являются рабочие эталоны, которые должны обеспечивать как контроль внешних, так и контроль внутренних размеров. Эти задачи позволяют решить плоскопараллельные концевые меры длины и установочные кольца. Для обеспечения необходимого уровня точности необходимо регулярно поверять рабочие эталоны, что и является априори труднодоступной задачей.

Существуют различные методы точного измерения отверстий, позволяющие производить как поверку установочных колец методом сравнения с образцовыми кольцами, так и поверку самих образцовых колец. Однако на сегодняшний день мировая промышленность не выпускает специализированных приборов, предназначенных для абсолютных измерений колец образцовых 4-го разряда и выше, а также колец установочных 3, 4 и 5 классов точности; покупка измерительного центра, способного справиться в том числе и с этими задачами, зачастую не по карману российским предприятиям машиностроительного производства.

В таком случае открывается необходимость реализовать самые передовые из существующих способов измерительного преобразования в поверочной установке для схем измерения как установочных, так и образцовых колец. Рассмотрим ее устройство и принцип действия.

Измеряемое кольцо устанавливается на гранитный столик. В процессе работы установки кольцо вместе со столиком совершают поступательные горизонтальные перемещения. Для минимизации износа в процессе этих перемещений выбраны аэростатические направляющие, позволяющие столику перемещаться по гранитному же основанию на воздушной подушке. Привод осуществляется шаговым двигателем в сочетании с шарико-винтовой парой.

В таком случае, применение шарико-винтовой пары даёт возможность создать надежные высокопродуктивные механизмы благодаря высокой долговечности и осевой жесткости, дающей отменную плавность движения и КПД в 85—90%, что обеспечивается твёрдостью рабочих поверхностей HRC 59—61 и заменой классического трения скольжения в паре трением качения. Шаговый двигатель, в данном случае, есть электромеханическое устройство, преобразующие сигнал управления в угловое либо линейное перемещение ротора с условием его фиксации в заданном положении вне обратной связи.

Отсчет перемещения осуществляется оптоэлектронной системой Heidenhein, общий принцип измерения линейных и угловых размеров которых лежит в методе фотоэлектрического сканирования тонкосетчатых штриховых растров. При перемещении линейки относительно маски штрихи и межштриховые промежутки то совпадают с аналогичными элементами ответной части, то попадают в противофазу, и при этом изменяется интенсивность светового потока. Световой поток преобразуется фотоэлементами в электрические сигналы. Далее в электронном блоке сигналы проходят преобразование в цифровую форму и интерполяцию, благодаря которой удается уменьшить дискретность отсчета оптоэлектронных систем во много раз относительно шага шкалы растра.

В стойке установки закреплена кремальера с измерительным модулем, угловое перемещение измерительного наконечника которого преобразуется в изменение

индуктивности.

Единичное измерение происходит следующим образом: кольцо вместе со столиком на аэростатических направляющих подводится к измерительному наконечнику до момента соприкосновения с ним стенки кольца, затем воздух выключается, шаговый двигатель останавливается, столик ложится на гранитное основание. Измерительный наконечник, осуществляя малые перемещения в диапазоне  $\pm 400$  мкм, более точно определяет момент контакта со стенкой кольца. Компьютер считывает показания индуктивного датчика и оптоэлектронной системы и определяет координату стенки кольца.

Однако, зафиксировав координату стенки кольца по одной оси, мы еще не можем судить о диаметре. И даже если зафиксировать координату противоположной стенки по этой оси вышеописанным способом, мы получим всего лишь длину хорды, но не длину диаметра. Для решения этой проблемы в установке используется алгоритм, который раньше не находил применения. Он отличается от традиционного способа поиска наибольшего размера или метода хорд.

Суть алгоритма в следующем. Выполняется серия парных измерений. Каждое парное измерение позволяет получить координаты концов хорд окружности кольца. Хорды расположены друг от друга на определенном фиксированном расстоянии.

Рис. 1

Для этого в установке предусмотрено перемещение по второй оси координат с определенным шагом. В результате на каждой стороне кольца мы получаем серию точек.

Пусть в результате эксперимента были измерены 5 хорд кольца:  $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5$ ; и расстояние между ними соответственно:  $y_2, y_3, y_4, y_5$ . На первой хорде примем начало системы координат (см. рис. 1). Сведя концы хорд к одной оси, получим параболическую зависимость функции  $h(y)$  как аппроксимирующую, проходящую через эти точки (см. рис. 2).

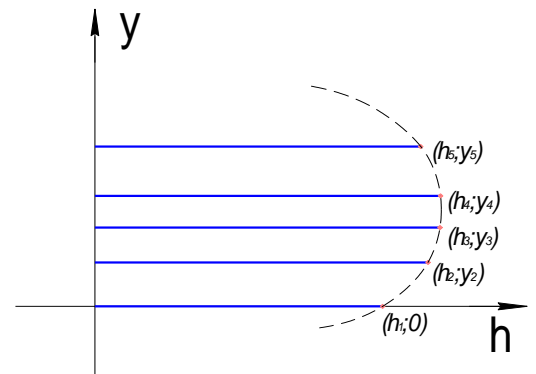
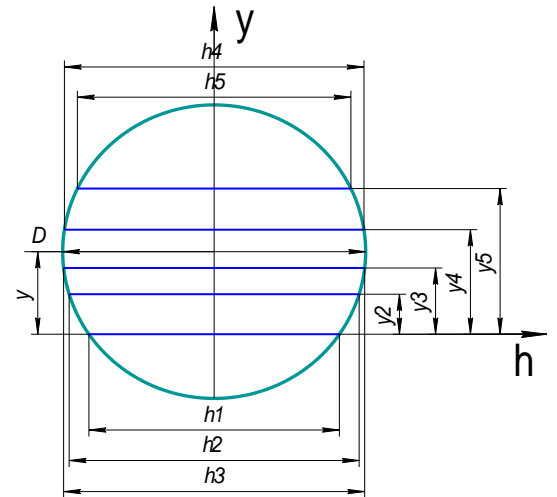


Рис. 2

Функциональная зависимость между величинами  $y$  и  $h$ , которые получены в результате эксперимента, будет иметь вид уравнения параболы через 5 точек:  $h(y) = a + by + cy^2$ . Вид эмпирической зависимости известен, числовые параметры находятся решением задачи приближения многочленами таблично заданной функции по методу наименьших квадратов.

Многочлен  $h(y) = a + by + cy^2$  есть многочлен 2-й степени через 5 точек, определяющий обусловленность системы. Нормальная система уравнений в данном случае примет вид:

$$\begin{cases} (n+1)a + \left(\sum_{i=0}^n y_i\right)b + \left(\sum_{i=0}^n y_i^2\right)c = \sum_{i=0}^n h_i \\ \left(\sum_{i=0}^n y_i\right)a + \left(\sum_{i=0}^n y_i^2\right)b + \left(\sum_{i=0}^n y_i^3\right)c = \sum_{i=0}^n h_i y_i \\ \left(\sum_{i=0}^n y_i^2\right)a + \left(\sum_{i=0}^n y_i^3\right)b + \left(\sum_{i=0}^n y_i^4\right)c = \sum_{i=0}^n h_i y_i^2 \end{cases}$$

Составив данную систему наименьших квадратов, подбираем необходимый набор коэффициентов:  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ; из чего находится функциональная зависимость между величинами  $y$  и  $h$ . Тогда экстремум аппроксимирующей функции:  $y_{ext} = -\frac{b}{2c}$ . Абсцисса параболы и будет составлять самую большую хорду измеряемого кольца, т.е. искомый диаметр кольца  $D$ :  $D = \frac{4ac - b^2}{4c}$ .

Математическая обработка экспериментальных данных по указанному алгоритму осуществляется подключенным к установке компьютером, с установленным специальным программным обеспечением.

Одним из неоспоримых преимуществ установки является то, что при использовании данного алгоритма в сочетании с компьютерным управлением, измерения можно осуществлять в автоматическом режиме. Необходимо лишь ввести наконечник модуля в отверстие кольца, и включить прибор. После этого температурные датчики измеряют температуру воздуха, кольца и оптоэлектронной шкалы и начинается автоматический цикл работы установки, который занимает от 7 до 10 мин.

Другим достоинством установки является соблюдение принципа Аббе, поскольку оптоэлектронная шкала находится на незначительном расстоянии от линии измерения, которое не вносит существенной дополнительной погрешности.

Таким образом, можно говорить о неоспоримых преимуществах данной установки, которая является современным высокотехнологичным измерительным прибором, востребованным в условиях отечественного машиностроения и не только.