

Современный штангенциркуль

М. И. ЭТИНГОФ

ОАО «НИИИзмерения», Москва, Россия, e-mail: etingof@glasnet.ru

Рассмотрены конструкции традиционного и электронного штангенциркулей, проведено сравнение характеристик обоих инструментов и описана перспектива их применения.

Ключевые слова: штангенциркуль, инкрементный преобразователь, цифровой отсчет.

The designs of traditional and electronic callipers are considered. The comparison of both instruments' characteristics is carried out and the perspective of their application is described.

Key words: calliper, increment transformer, digital readout.

Благодаря простоте конструкции, удобству в обращении и скорости в работе штангенциркуль (ШЦ) является самым употребляемым цеховым и лабораторным инструментом для линейных измерений. Большое разнообразие форм измерительных ножек, позволяющее исследовать самые разные поверхности (наружные, внутренние, выступы, впадины и др.), делает ШЦ универсальным инструментом. Кроме ШЦ выпускают много инструментов, построенных на этом же принципе — штангенглубиномер, штангенрейсмус, штангензубомер и т. д. Этот инструмент производят многие зарубежные фирмы: Tesa (Швейцария), Mitutoyo (Япония), Carl Mahr (Германия) и отечественные предприятия — Челябинский и Кировский инструментальные заводы, также на рынке представлены ШЦ, изготавливаемые в КНР, не всегда отличающиеся высоким качеством.

Штангенциркули выпускают с двусторонним или односторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и выдвижным щупом для измерения глубины, которым снабжают только ШЦ с диапазоном измерения 125 мм. Штангенциркуль с отсчетом по штриховой шкале имеет прямоугольную штангу (отсюда и название инструмента) с неподвижной губкой и ползун (рамку) с губкой, который перемещается по штанге. На штанге нанесена основная шкала ценой деления 1,0 мм, на ползун — нониус, или вспомогательная шкала, служащая для точного отсчета долей деления основной шкалы. Такие ШЦ обладают диапазоном измерения 125 — 2000 мм и ценой деления нониуса 0,1; 0,05 и 0,02 мм.

Качество современных ШЦ очень высокое. Точное изготовление направляющей ползуна (штанги) обеспечивает его плавное перемещение без перекосов губок и люфтов. Применение нержавеющей сталей и сплавов и их термообработка обуславливают антикоррозийные свойства инструмента и высокую износостойкость. Однако механический ШЦ со штриховым отсчетом имеет серьезный эксплуатационный недостаток — неудобство отсчета по штриховой шкале и нониусу, особенно в условиях плохого освещения. Этот недостаток полностью устранен у электронного штангенциркуля с цифровым отсчетом.

Конструктивно электронный ШЦ мало отличается от механического, но вместо штриховых шкал и нониуса он снабжен инкрементным, как правило, емкостным преобразователем, небольшим преобразующим устройством и цифровым дисплеем.

Инкрементный преобразователь (рис. 1) состоит из гибкой линейки и съемника, выполненных из фольгированного

диэлектрического материала. Линейка представляет многослойную гибкую ленту с нанесенным на ней фольгированным слоем, а на ее изнаночную сторону нанесен клей, и линейка (лента) приклеивается по всей длине штанги ШЦ. На фольгированном слое выполнены прямоугольные штрихи (электроды). Ширина прямоугольных электродов и промежутков между ними обычно одинаковая и определяет чувствительность и точность измерительной системы. На ползуне расположена небольшая считывающая шкала (съемник) с электродами на фольгированном слое. Работа инкрементного емкостного преобразователя рассмотрена на схеме в [1]. Хотя на практике применяют и другие конфигурации шкал, работающих на том же принципе.

Преобразователь состоит из двух плоских шкал 1, 5. На шкале 1 (линейке) нанесены одинаковые прямоугольные электроды 2 с постоянным шагом l , на которые от специального генератора подаются периодические сигналы напряжения одинаковой формы и амплитуды, но сдвинутых по фазе. Электроды 2 являются передающими, а расположенный на той же шкале длинный электрод 3 — приемным. На другой шкале 5 с постоянным шагом L нанесены электроды связи 4, некоторые из них перекрывают передающие и приемный электроды и осуществляют емкостную связь части передающих электродов с приемным. Отношение между шагами электродов 2 и 4 составляет $L/l = m$, где m — число передающих электродов, размещенных на интервале, равном шагу L .

Нормальная работа инкрементного емкостного преобразователя обеспечивается m -фазной системой питания передающих электродов для создания периодической про-

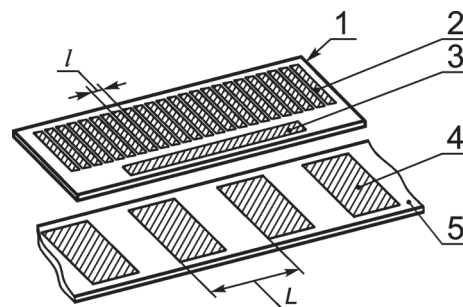


Рис. 1. Инкрементный емкостный преобразователь:
1, 5 — шкалы; 2, 3 — передающие и приемный электроды;
4 — электрод связи

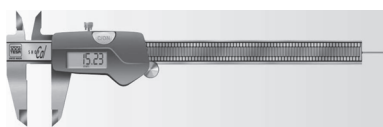


Рис. 2. Электронный штангенциркуль

пространственной волны. Все напряжения периодические, имеют идентичную форму, одинаковую амплитуду и обеспечивают заданный сдвиг фаз $\Delta\varphi = 2\pi/m$. Периодические напряжения электродов 2 создают волну, распространяющуюся между двумя пластинами. Часть этой волны попадает на электрод 3, и выходной сигнал преобразователя подается на фазочувствительное устройство. Оно определяет момент времени t_1 , в который фаза выходного сигнала будет равна φ_0 , если подвижная шкала смещена относительно неподвижной на величину x_1 . При смещении подвижной шкалы на величину x_2 та же фаза φ_0 достигается в момент времени t_2 . Измерив сдвиг фазы выходного сигнала, можно найти перемещение подвижной пластины преобразователя относительно неподвижной. Причем однозначность связи фазы с перемещением до определенных значений не зависит от скорости и ускорения движения подвижной шкалы относительно неподвижной.

На ползуне электронного ШЦ (рис. 2) также расположены электронная микропроцессорная схема и цифровой дисплей с дискретностью показаний 0,01 мм (высота цифр 7—9 мм). На корпусе ползуна предусмотрена кнопка установки нуля, которая возможна как при сведенных губках ШЦ, так и в любом месте штанги (например, для контроля партии одинаковых деталей). Некоторые модели обладают дополнительными функциями — сортировкой по размерам, кодовым выходом на внешние устройства и др. Вся электронная система питается от небольшой литиевой батарейки, срок службы которой 20000 ч. Электронные ШЦ имеют степень защиты от IP40 — до IP67 (герметичные) в соответствии с [2, 3].

Инкрементные емкостные преобразователи выгодно отличаются небольшой мощностью, потребляемой для считывания информации со шкалы, и поэтому наиболее удобны для применения в ручных измерительных приборах с батарейным питанием и жесткими ограничениями на потребляемую мощность (штангенглубиномере, штангенрейсмусе, штангензубомере и др.). Кроме того, эти преобразователи чрезвычайно просты по конструкции и технологичны, но практически не поддаются ремонту.

Суммарная погрешность измерения механическим ШЦ включает следующие составляющие:

погрешность Δ_1 , возникающая из-за неточного нанесения штрихов шкалы на штанге и нониусе;

погрешность Δ_2 , обусловленная нарушением принципа Аббе. Это погрешность первого порядка, зависящая от длины губок, зазоров в направляющей ползуна и усилия прижима губки к измеряемой детали;

погрешность Δ_3 , связанная с погрешностями отсчетов по штриховой шкале и нониусу;

погрешность Δ_4 , возникающая из-за неодинакового усилия прижима губки к измеряемой детали и деформации контролируемой поверхности измерительными губками;

погрешность Δ_5 , определяемая отклонениями температуры изделия и ШЦ от нормальной температуры. В процессе измерения ШЦ, а иногда и контролируемую деталь держат в руках, поэтому их температуры переменные;

погрешность Δ_6 , обусловленная перекосами губок ШЦ относительно измеряемой детали.

Суммарная погрешность выражается как

$$\Delta_{\Sigma} = \pm 2\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2}, \quad (1)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение.

У электронного ШЦ дополнительно возникает погрешность Δ_7 , определяемая погрешностью инкрементного емкостного преобразователя, но отсутствуют погрешности штриховых шкал Δ_1 и отсчета по ним Δ_3 . Таким образом, суммарная погрешность электронного ШЦ вычисляется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \pm 2\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_2^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2 + \Delta_7^2}. \quad (2)$$

Из (1), (2) следует, что основные и наиболее значимые составляющие суммарной погрешности механического и электронного ШЦ — погрешности, обусловленные нарушением принципа Аббе и отклонением температуры. Поэтому наличие инкрементного преобразователя и цифрового отсчета не повышает точность электронного ШЦ, несмотря на меньшую дискретность отсчета (0,01 мм) и более удобное считывание показаний.

Фирмы-изготовители в руководстве по эксплуатации ШЦ часто указывают эмпирические формулы для расчета погрешности измерения. Так, для инструментов, выпускаемых фирмой Tesa (Швейцария), приведены следующие формулы для примерного расчета предельно допустимой погрешности измерения для ШЦ:

с отсчетом по нониусу или циферблату с ценой деления 0,1 или 0,05 мм

$$\Delta_{lim} = (20 + l/10 \text{ мм}) \text{ мкм};$$

с ценой деления нониуса 0,02 мм или с цифровым отсчетом с ценой деления 0,01 мм

$$\Delta_{lim} = (22 + l/50 \text{ мм}) \text{ мкм}.$$

Однако во всех случаях предельно допустимая погрешность измерения будет не менее 50 мкм.

Штангенциркули со штриховым и цифровым отсчетами выпускают и калибруют в соответствии со стандартами [4, 5]. Следует также отметить, что при помощи ШЦ удобно измерять размеры до 100—200 мм, а измерение деталей большего размера, особенно более 500 мм, крайне сложно и требует определенного опыта.

Таким образом, в настоящее время выпускают и широко применяют две модели ШЦ — механический со штриховым отсчетом и электронный с цифровым отсчетом, но электронный настолько удобен в эксплуатации, что в ближайшем будущем он постепенно вытеснит механический ШЦ.

Л и т е р а т у р а

1. Вороничев П. П., Менгазетдинов Н. Э. Инкрементные емкостные преобразователи перемещений // Датчики и системы. 2001. № 3. С. 6-11.
2. DIN EN 60529:1991. Protection category of casings/boxes.
3. ГОСТ 14254—96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP).
4. ГОСТ 166—89. Штангенциркули. Технические условия.
5. DIN DIN 862:1988. Vernier callipers; requirements and testing.

Дата принятия 01.09.2011 г.