

Данное наблюдение полезно использовать при изготовлении срезанных пальцев и при проектировании высокоточной технологической оснастки в условиях серийного производства.

Таким образом, в результате анализа достигнуты следующие результаты:

1. получена корректная формула для определения величины продольного зазора между пальцем и отверстием в заготовке (3);
2. записано более точное математическое описание условия установки заготовки на цилиндрический и срезанный пальцы (4, 5);
3. определен вид и степень влияния отклонения ширины ленточки срезанного пальца на величину продольного зазора.

Литература

1. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М. : Машиностроение, 1966. 649 с.

D. V. Grinev

TO THE QUESTION OF ACCURACY OF INSTALLATION OF PERFORM ON THE CUT-OFF FINGER

Features of determination of size of a longitudinal gap between the cut-off finger and an opening in perform are considered. More exact dependences, allowing to carry out check of possibility of installation of perform on the cylindrical and cut-off fingers are received.

Keywords: gap, cut-off finger, accommodating.

Гринев Дмитрий Владимирович — доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, grinev_dmitry@mail.ru.

УДК 621.9.08

И. Г. Ершова

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОЦЕНКА

Рассматривается определение составляющих погрешностей измерения по источникам их возникновения. Так как строгой и единой классификации погрешностей нет, а любая классификация должна преследовать определенные цели, предложена классификация погрешностей для решения поставленной метрологической задачи.

Ключевые слова: измерение, точность, погрешность, оценка.

С измерениями постоянно связана деятельность инженера-исследователя, инженера-технолога, инженера-конструктора. Технические измерения на производстве должны быть организованы так, чтобы были выполнены все требова-

ния, предъявляемые к изделию. При этом измерительные средства должны обладать требуемой точностью и заданной производительностью.

При разработке измерительного прибора необходимо уметь определять погрешности измерений для выбранной схемы измерения. Для этого следует тщательно проанализировать все погрешности, влияющие на точность измерения. Наиболее существенными является учет погрешностей по источникам их возникновения.

При измерениях всегда имеют место следующие четыре фактора возникновения погрешностей:

1. Погрешности метода. Погрешности метода могут возникать из-за теоретических допущений, принятых при измерении или обработке результатов, а также используемых в ходе измерительного преобразования приближений и упрощений. Другой возможной причиной погрешности метода является идеализация реального объекта измерений.

2. Инструментальные погрешности (погрешности средств измерений). К инструментальным погрешностям относят все погрешности применяемых в данной методике средств измерений и вспомогательных устройств

3. Погрешности условий (погрешности из-за отличия условий измерения от нормальных). К погрешностям из-за несоблюдения нормальных условий измерений следует отнести все составляющие погрешности измерения, которые вызваны воздействием на измеряемый объект и средства измерений любой влияющей физической величины, отличающейся от номинальной и выходящей за пределы нормальной области значений.

4. Субъективные погрешности (погрешности оператора). Субъективные погрешности включают погрешности отсчитывания и погрешности манипулирования средствами измерений и измеряемым объектом. При измерениях часто приходится оперировать устройствами совмещения, настройки и корректировки нуля, арретирования, базирования СИ и измеряемого объекта, или другими устройствами присоединения СИ к объекту для снятия сигнала измерительной информации.

Исходя из перечисленных факторов источников возникновения, погрешность измерения можно представить в виде следующих составляющих

$$\Delta_{\text{изм}} \supset \Delta_{\text{М}} + \Delta_{\text{ИП}} + \Delta_{\text{У}} + \Delta_{\text{С}} \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{М}}$ — погрешность метода; $\Delta_{\text{ИП}}$ — погрешность измерительного прибора; $\Delta_{\text{У}}$ — погрешность из-за воздействия внешней среды; $\Delta_{\text{С}}$ — погрешность отсчета (субъективная).

Оценку результирующей погрешности измерения осуществляют методом суммирования составляющих погрешностей, основанным на алгебраическом или геометрическом сложении.

Наибольшая трудность возникает при определении методической составляющей погрешности, так как имеющиеся в литературе указания о методических и инструментальных погрешностях не всегда ясны. При определении данной погрешности важно четко себе представлять, что входит в методическую погрешность. Наиболее тщательно конструктор должен проанализировать погрешность самой конструктивной схемы проектируемого приспособления, ко-

торая определяется правильностью выбора баз измерения и конструкции базизирующего устройства, принятым измерителем и его погрешностью, неточностью устройств, передающих отклонения проверяемой детали измерителю и т. п.

Отличительной особенностью методических погрешностей является то, что они не могут быть указаны в нормативно-технической документации на используемое СИ, поскольку от него не зависят, а должны определяться оператором в каждом конкретном случае.

К погрешностям измерительного прибора (далее приспособления) относят все погрешности применяемых в данной методике средств измерений и вспомогательных устройств, например погрешности прибора, мер для его настройки, установочных узлов и т. д.

Погрешность измерительного приспособления возникает из-за: несовершенства схемы измерительного приспособления, неточности изготовления и сборки, неточности элементов базирования и крепления детали, непропорциональности перемещения звеньев из-за наличия зазоров в опорах, температурных и силовых деформаций элементов прибора и измеряемой детали, неточности отсчета, связанной, в частности, с параллаксом, неточности используемого измерительного преобразователя и др.

В общем виде результирующую погрешность измерительного приспособления можно представить следующим образом

$$\Delta_{ИП} \supset \Delta_{СХ} + \Delta_T + \Delta_{Э} + \Delta_O + \Delta_{П} \quad (2)$$

где $\Delta_{СХ}$ — погрешность схемы измерительного приспособления (теоретическая погрешность); Δ_T — технологическая погрешность; $\Delta_{Э}$ — эксплуатационная погрешность; Δ_O — погрешность отсчета; $\Delta_{П}$ — погрешность преобразователя (технического СИ с нормативными метрологическими характеристиками), СИ (измерительной головки).

Погрешность схемы измерительного приспособления

Для погрешности схемы механизма характерно то, что она в каждом положении ведущего звена имеет вполне определенное значение, поэтому эта погрешность является систематической, изменяющейся по определенному закону. Погрешность схемы рассчитывается как разность между характеристикой приспособления (функцией преобразования), обусловленной его схемой и требуемой характеристикой (функцией преобразования) и в общем случае:

$$\Delta_{СХ} = l_{СХ}(x_i, r_i) - l_0(x), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad a \leq x \leq b, \quad (3)$$

где $l_{СХ}(x_i, r_i)$ — функция преобразования, обусловленная схемой измерительного приспособления; r_i — параметры механизма, это геометрические величины, определяющие размеры и взаимное положение отдельных элементов, $l_0(x)$ — требуемая точная функция преобразования, выражающая закон построения шкалы, x — измеряемая величина; a, b — нижний и верхний пределы измерений; i — номер элемента; n — число учитываемых элементов.

Методика расчета погрешности, обусловленной схемой измерительных устройств, и числовые примеры изложены в [1].

Технологическая погрешность

При определении технологической погрешности приспособления следует принимать во внимание лишь те первичные погрешности изготовления элементов приспособления, которые влияют на выходную величину — перемещение подвижного элемента отсчетного устройства.

Поскольку математическое описание измерительного приспособления известно, т. е. известна функция преобразования, то технологическую погрешность можно рассчитать по формуле

$$\Delta_T = \sum_{S=1}^n \left(\frac{\delta l_{CX}}{\delta q_S} \right) \times \Delta q_S, \quad (4)$$

где Δq_S — погрешность изготовления элемента приспособления номера S .

Здесь использован метод алгебраического суммирования, поскольку составляющие погрешности вызываются одной и той же причиной — погрешностью изготовления деталей измерительного приспособления.

Эксплуатационная погрешность

Группа эксплуатационных погрешностей, возникающих в результате эксплуатации измерительного прибора, является наиболее многочисленной. Источниками появления поэлементных эксплуатационных погрешностей могут быть: отличие условий эксплуатации от нормальных (например, непостоянство температурного режима); силовые деформации, вызывающие упругие перемещения, контактные деформации, зависящие от измерительного усилия, перемещения в пределах зазоров, непостоянство измерительного усилия во времени, упругого последствия, непостоянства сил трения и т. п.:

$$\Delta_{\Sigma} \supset \Delta_t + \Delta_{упр} + \Delta_k + \Delta_s, \quad (5)$$

где Δ_t — температурная погрешность; $\Delta_{упр}$ — погрешность от упругих деформаций; Δ_k — погрешность от контактных деформаций; Δ_s — погрешность от перемещения в пределах зазора.

Поскольку нет возможности привести исчерпывающие сведения о методах оценок всех составляющих эксплуатационной погрешности, то при необходимости следует обратиться к нормативной или справочной литературе. Например, методы расчета температурных погрешностей подробно изложены в [3], расчеты погрешностей, возникающих из-за наличия зазоров в опорах, направляющих вращательного и поступательного перемещений, подробно изложены в работах [2]; погрешности, связанные с упругими перемещениями элементов измерительного приспособления, а так же с контактными деформациями можно оценить, воспользовавшись расчетными схемами и формулами технических справочников.

Рассмотрим наиболее часто имеющие место эксплуатационные погрешности от температурных и силовых деформаций.

Температурная погрешность

При известном температурном режиме θ_t (допустимая разность температур (θ_t °C) объекта измерения и измерительного средства) погрешность от температурных деформаций определится по формуле:

$$\Delta l_t = 11,6 \times 10^{-6} \times l \times \theta_t, \quad (6)$$

где l — измеряемый размер (при измерении отклонения формы или расположения поверхностей за измеряемый размер следует брать длину нормируемого участка или соответствующий номинальный размер).

Погрешность от упругих перемещений

Под воздействием измерительного усилия, веса средства измерений и измеряемой детали возникают упругие перемещения элементов измерительного прибора или детали, которые приводят к погрешности измерения. Измерительное усилие, приложенное к измеряемой детали, расположенной консольно или на двух опорах, а также к детали из мягкого материала или тонкостенной, может вызвать прогиб детали. Величина погрешности измерений при этом равна значению деформации элемента прибора или детали под действием нагрузки и определяется по формулам сопротивления материала.

Погрешность от контактных деформаций

При измерении детали, помещаемой под измерительный наконечник без его арретирования, т. е. когда деталь проталкивается под наконечником, чтобы выявить экстремальную точку у цилиндрического элемента, происходит деформация установочных узлов (или происходит сжатие контактируемых поверхностей). В результате чего появляется погрешность от контактных деформаций, при расчете которой учитывают максимальное измерительное усилие, материал, форму и состояние поверхности измерительного наконечника и объекта измерения.

При измерениях могут применяться три вида контакта измерительного наконечника и детали в точке их контакта: в точке, по линии и по плоскости. Наиболее распространенный вид контакта — в точке. Значение возникающей деформации может быть рассчитано по известным в сопротивлении материала формулам Герца, по полуэмпирическим формулам, по номограммам.

Погрешность от перемещений в пределах зазоров

Связь измерительных приборов с контролируемой поверхностью осуществляется, как правило, с помощью прямой или рычажной передачи. При использовании в передаточном механизме рычажной передачи необходимо учесть влияние зазоров в опоре рычага. Для уменьшения погрешностей от перемещений в пределах зазоров при разработке измерительного приспособления следует располагать центры сфер и центр опоры на одной прямой, т. е. соблюдать правило теоретического рычага.

Погрешность отсчета

Погрешность отсчета складывается из погрешностей шкального механизма (погрешностей изготовления шкалы и ее установки в корпусе прибора, погрешности смещения оси вращения циферблата вследствие наличия зазоров в опорах) и ошибок оператора, которые обусловлены явлением параллакса и неточностью совмещения указателя со штрихами шкалы. Перечисленные погрешности, сумма которых составляет полную абсолютную погрешность отсчета, дают представление о возможных погрешностях шкальных устройств.

Погрешности измерения, зависящие от субъективных факторов

Данные погрешности возникают от участия в процессе измерений или при его подготовке оператора, т. е. субъекта. Они вызваны состоянием оператора, его положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ.

К субъективным погрешностям, зависящим от оператора, можно отнести следующие виды погрешности: субъективные погрешности присутствия, проявляющиеся в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды; субъективные погрешности действия, которые вносятся оператором при настройке измерительного приспособления, при перемещении приспособления относительно детали или детали относительно приспособления, например, при измерении внутренних размеров; профессиональные субъективные погрешности, зависящие от квалификации контролера.

Как показали результаты эксперимента, наиболее существенное влияние на погрешность измерения оказывают субъективные погрешности действия и профессиональные. Подробные сведения об учете этих составляющих можно найти в [4].

Погрешности средств измерения

В конструкциях измерительных приспособлений для измерения линейных и угловых величин чаще всего используют стандартные измерительные преобразователи – головки и индикаторы (ИЧ, МИГ, ИГ, ИГМ и т. д.). Погрешности этих преобразователей приводятся в паспортных данных, справочниках и т. д.

Суммарная погрешность измерения

Рассмотренные выше причины вызывают появление систематических и случайных погрешностей, из которых складывается суммарная погрешность измерения. Расчетная суммарная погрешность измерения определяется путем суммирования ее составляющих. Эти составляющие подразделяются на аддитивные и мультипликативные и суммируются отдельно. Из суммируемых составляющих выделяются группы коррелированных между собой составляющих погрешности, и внутри этих групп производится алгебраическое суммирование их оценки. Затем суммарные по группам и оставшиеся вне групп погрешности можно считать уже некоррелированными и складывать по правилу:

$$\Delta_{\text{изм}} = \sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}. \quad (7)$$

Таким образом, результирующая величина погрешности может быть определена установлением математических зависимостей составляющих погрешностей от факторов их определяющих и использованием метода суммирования. При этом целесообразно ограничить вычисление результирующей погрешности определением основных составляющих. Многие из этих погрешностей при рассмотрении конкретного измерительного прибора оказывают незначительное влияние на результирующую погрешность, кроме того, в каждом конкретном случае может быть свой комплекс доминирующих погрешностей.

Литература

1. Иванцов А. И. Основы теории точности измерительных устройств Учебное пособие. М. : Издательство стандартов, 1972.
2. Литвин Ф. Л. Проектирование механизмов и деталей приборов. Л. : Машиностроение, 1973.
3. Марков Н. Н., Сацердотов П. А. Погрешности от температурных деформаций при линейных измерениях. М. : Машиностроение, 1976.
4. Селиванов М. Н. Качество измерений: Метрологическая справочная книга. Л. : Лениздат, 1987.

I. G. Ershova

ERROR MEASUREMENT AND EVALUATION

This article discusses the definition of the components of measurement errors on the source of their origin. Since a strict and uniform classification of errors is not, and any classification should pursue certain goals, classification errors for the solution of metrological problems.

Keywords: measurement, precision, accuracy, evaluation.

Ершова Ирина Глебовна — доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО ПсковГУ, канд. техн. наук, доцент, www.ershovai@bk.ru.

УДК 621.4

Ю. Н. Журавлев, М. С. Шерстюков

СРАВНЕНИЕ КУЛАЧКА С НАРУЖНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ ЭКВИДИСТАНТОЙ С ПОЗИЦИИ ПРОЧНОСТИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РОЛИКОМ ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДВИЖЕНИЯ

Проведено сравнение двух возможных вариантов расположения эквидистант рычажно-кулачкового преобразователя движения. Определены значения радиусов ролика, при которых будут возникать наименьшие контактные напряжения, с учетом ограничений накладываемых на пару «ролик ромбоида-кулачок».

Ключевые слова: кулачок, эквидистанта, напряжения, радиус кривизны.

В настоящее время в Псковском государственном университете проводятся научно-исследовательские работы по созданию нового теплового двигателя — роторно-лопастного с внешним подводом теплоты [1]. Одним из ответственных узлов двигателя является рычажно-кулачковый преобразователь движения, преобразующий вращательно-колебательное движение лопастей в одно-