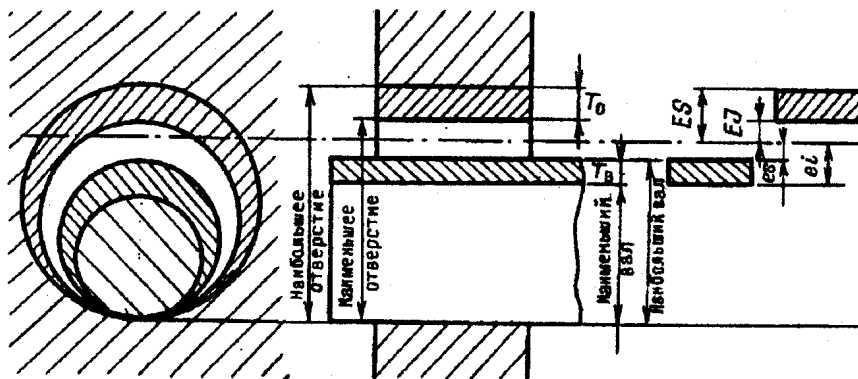


В.М. Пачевский М.Н. Краснова

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ: ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебное пособие



Воронеж 2014

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

В.М. Пачевский М.Н. Краснова

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

Воронеж 2014

УДК 621.02.01.2

Пачевский В.М. Метрология, стандартизация и технические измерения: лабораторный практикум: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (2,7 Мб) / В.М. Пачевский, М.Н. Краснова. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв. – Систем. требования : ПК 500 и выше ; 256 Мб ОЗУ ; Windows XP ; SVGA с разрешением 1024x768 ; MS Word 2007 или более поздняя версия или (Adobe Acrobat); CD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с экрана. – Диск и сопровод. материал помещены в контейнер 12x14 см.

В учебном пособии представлены материалы по нормированию точности, метрологическому обеспечению машиностроительного производства. Пособие содержит краткое изложение учебного материала, задания на лабораторные работы, объяснения по их выполнению, описание устройства инструментария для проведения технических измерений, которыми студент должен знать и владеть в совершенстве.

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и 150700.62 «Машиностроение» (всех профилей подготовки по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»).

Табл. 19. Ил. 76. Библиогр.: 5 назв.

Рецензенты: кафедра строительной техники и инженерной механики Воронежского государственного архитектурно - строительного университета (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Жулай В. А.); д-р техн. наук, проф. Ю.С. Ткаченко

© Пачевский В.М., Краснова М.Н., 2014

© Оформление. ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Современное машиностроение характеризуется широким внедрением современных, надежных и эффективных машин высокого качества. Непрерывно совершенствуются конструкции машин и других изделий, технология и средства их производства и контроля. Широко используются такие методы повышения технологичности изделий, как унификация и стандартизация изделий, их агрегатов и деталей; шире используются методы комплексной, и опережающей стандартизации; внедряются системы управления качеством продукции, система технологической подготовки производства. Увеличилась доля изделий высшей категории качества в общем объеме их производства.

Большое значение для развития машиностроения имеет организация производства машин и других изделий на основе взаимозаменяемости, создание и применение надежных средств технических измерений и контроля.

Комплекс дисциплин «Метрология, стандартизация и технические измерения», дает студенту знания, которые входят в основу обязательных знаний абсолютно для всех специалистов, работающих в любой отрасли машиностроения. Эти обязательные знания должны быть усвоены будущими специалистами. Этими знаниями специалист будет пользоваться все время, пока он будет работать в области машиностроения.

Знания нормирования точности в машиностроении и что это такое, какими параметрами нормируется точность, какими знаками и как эти требования должны обозначаться на чертежах, как и каким инструментарием производятся технические измерения, студент должен знать и владеть в совершенстве.

Важным элементом учебного процесса является лабораторный практикум. Выполнение лабораторных работ по дисциплине не только позволяет студентам закрепить теоретические знания, но и самостоятельно их применять на практике, хотя бы в рамках учебной задачи. Такой подход к лабораторным работам обязывает индивидуализировать задания, вно-

силь в них элементы неожиданного, требующего творческого решения. При выполнении лабораторной работы студенты овладевают методами организации, подготовки и проведения эксперимента, анализом его результатов. В каждой лабораторной работе должна быть поставлена цель, только достижение ее служит основанием для окончания данной работы и ее защиты.

Методика проведения лабораторных занятий может существенно различаться для разных дисциплин, но форма их проведения должна быть активной. Студент должен на занятиях интенсивно работать. Очень важно, чтобы студенты имели четкое представление о том, какое отношение предлагаемые им задачи имеют или будут иметь к их будущей профессии.

В данном учебном пособии представлено восемь лабораторных работ, что превышает требования учебного курса. Выбор той или иной лабораторной работы диктуется количеством часов учебного плана, возможностями кафедры, ведущей данную дисциплину, требованиями производственных предприятий данного региона в соответствии с профессиональными компетенциями.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Учебное пособие разработано для проведения восьми лабораторных работ, связанных с изучением технических измерений и особенностями их практического применения.

Цель работ: закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков в подборе оптимальных методов измерения и измерительных средств для заданных поверхностей и проведение измерений в реальных условиях.

Время выполнения одной работы - 4 часа.

Не позднее, чем за две недели до проведения лабораторной работы студент должен знать номер той работы, которую он должен выполнять на следующем занятии. За это время студент знакомится с описанием лабораторной работы, изучает теоретические вопросы, продумывает возможные варианты выполнения работы.

Отчет по лабораторным работам оформляется в отдельной тетради. Он проводится в виде защиты. Студент отчитывается в присутствии всей подгруппы. Каждый присутствующий может задавать вопросы и высказывать свое мнение по поводу выполненной работы.

В описании каждой лабораторной работе представлена информация по особенностям отчета.

2. МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Теоретическая часть

2.1.1. Основные понятия

Основными единицами физических величин в СИ являются: длины — метр (м), массы — килограмм (кг), времени — секунда (с), силы электрического тока — ампер (А), термодинамической температуры — кельвин (К), силы света — кандела (кд), количества вещества — моль (моль). Дополнительные единицы СИ: радиан (рад) истерадиан (ср) — для измерения плоского и телесного углов соответственно.

Производные единицы СИ получены из основных с помощью уравнений связи между физическими величинами. Так, единицей силы является ньютон: $1\text{ Н} = 1\text{ кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$, единицей давления — паскаль: $1\text{ Па} = 1\text{ кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-2}$ и т. д. В СИ для обозначения десятичных кратных (умноженных на 10 в положительной степени) и дольных (умноженных на 10 в отрицательной степени) приняты следующие приставки: экса (Э) - 10^{18} , пета (П) - 10^{15} , тера (Т) - 10^{12} , гига (Г) - 10^9 , мега (М) - 10^6 , кило (к) - 10^3 , гекто (г) - 10^2 , дека (да) - 10^1 , деци (д) - 10^{-1} , санти (с) - 10^{-2} , милли (м) - 10^{-3} , микро (мк) - 10^{-6} , нано (н) - 10^{-9} , пико (п) - 10^{-12} , фемто (ф) - 10^{-15} , атто (а) - 10^{-18} . Так, в соответствии с СИ тысячная доля миллиметра (микромметр) $0,001\text{ мм} = 1\text{ мкм}$.

Средства измерений. Технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства, называют средствами измерения.

Эталоны — средства измерений, официально утвержденные и обеспечивающие воспроизведение и (или) хранение единицы физической величины с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений.

Меры — средства измерений, предназначенные для воспроизведения заданного размера физической величины. В технике часто используют наборы мер, например, гирь, плоскопараллельных концевых мер длины (плиток), конденсаторов и т. п.

Образцовые средства измерений — меры, измерительные приборы или преобразователи, утвержденные в качестве образцовых для поверки по ним других средств измерений. Рабочие средства применяют для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Порядок передачи размера единиц физической величины от эталона или исходного образцового средства к средствам более низких разрядов (вплоть до рабочих) устанавливают в соответствии с поверочной схемой. Так, по одной из поверочных схем передача единицы длины путем последовательного лабораторного сличения и поверок производится от рабочего эталона к образцовым мерам высшего разряда, от них образцовым мерам низших разрядов, а от последних к рабочим средствам измерения (оптиметрам, измерительным машинам, контрольным автоматам и т. п.).

Методы измерений. При измерениях используют разнообразные методы (ГОСТ 16263—70), представляющие собой совокупность приемов использования различных физических принципов и средств. При прямых измерениях значения физической величины находят из опытных данных, при косвенных — на основании известной зависимости от величин, подвергаемых прямым измерениям. Так, диаметр детали можно непосредственно измерить как расстояние между диаметрально противоположными точками (прямое измерение) либо определить из зависимости, связывающей этот диаметр, длину дуги и стягивающую ее хорду, измерив непосредственно последние величины (косвенное измерение).

Абсолютные измерения основаны на прямых измерениях основных величин и использовании значений физических констант (например, измерение длины штангенциркулем). При относительных измерениях величину сравнивают с одноименной, играющей роль единицы или принятой за исходную. Примером относительного измерения является измерение диаметра вращающейся детали по числу оборотов соприкасающегося с ней аттестованного ролика.

При методе непосредственной оценки значение физиче-

ской величины определяют непосредственно по отсчетному устройству прибора прямого действия (например, измерение давления пружинным манометром), при методе сравнения с мерой измеряемую величину сравнивают с мерой. Например, с помощью гирь уравнивают на рычажных весах измеряемую массу детали. Разновидностью метода сравнения с мерой является метод противопоставления, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, позволяющий установить соотношение между этими величинами (например, измерение сопротивления по мостовой схеме с включением в диагональ моста показывающего прибора).

2.1.2. Методы планирования измерений

При планировании измерений выбирают оптимальное число точек или кривых измерения, поскольку слишком большое число измерений приводит к удорожанию и усложнению эксперимента и может не дать новых сведений, а заниженное число измерений не позволяет надежно оценить выбранную точность метода или средства измерений. Используя математическое доказательство подобия, правомерность сравнения и моделирование процессов измерения и число предварительных наблюдений, заведомо меньшее, чем требуемое, можем вычислить необходимое число наблюдений.

Определение наименьшего числа измерений для достижения заданной точности измерения проводится в следующем порядке:

1. Выполнить четыре измерения заданного преподавателем размера детали (например, наружного диаметра вала).
2. Исключить из результатов измерений известные систематические погрешности (например, отклонения от нуля у средства измерения).
3. Вычислить среднее арифметическое исправленных результатов измерений

$$\chi_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \chi_i, \quad (2.1)$$

где χ_{cp} - среднее арифметическое,

χ_i - результаты измерений,

m - количество измерений.

4. Вычислить m абсолютных отклонений от среднего

$$\Delta\chi_i = \chi_i - \chi_{cp}. \quad (2.2)$$

5. Вычислить величину среднеквадратического отклонения результатов измерений по формуле:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\Delta\chi_i)^2}{m(m-1)}}. \quad (2.3)$$

6. Определить наименьшее число наблюдений n для достижения требуемой точности измерения по формуле:

$$n = \left(\frac{S_m t_{m-1}}{\Delta\chi} \right)^2 \left(1 + \frac{0,5}{m} \pm \frac{2}{\sqrt{m}} \right), \quad (2.4)$$

где n - оптимальное число наблюдений;

m - предварительное число наблюдений;

S_m - среднеквадратическое отклонение;

t_{m-1} - табличный коэффициент Стьюдента ($t_{m-1} = 4,3$ для доверительной вероятности $P = 0,95$ и числа наблюдений $m = 4$); - погрешность измерения.

При дифференциальном методе измеряемую величину сравнивают с известной величиной, воспроизводимой мерой. Этим методом, например, определяют отклонение контролируемого диаметра детали на оптиметре после его настройки на ноль по блоку концевых мер длины. Нулевой метод — также разновидность метода сравнения с мерой, при котором резуль-

тирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Подобным методом измеряют электрическое сопротивление по схеме моста с полным его уравниванием. При методе совпадений разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов (например, при измерении штангенциркулем используют совпадение отметок основной и нониусной шкал). Поэлементный метод характеризуется измерением каждого параметра изделия в отдельности (например, эксцентриситета, овальности, огранки цилиндрического вала). Комплексный метод характеризуется измерением суммарного показателя качества, на который оказывают влияния отдельные его составляющие (например, измерение радиального биения цилиндрической детали, на которое влияют эксцентриситет, овальность и др.; контроль положения профиля по предельным контурам и т. п.).

2.1.3. Универсальные средства измерений

Основные параметры средств измерений. Длина деления шкалы (рис. 2.1) – расстояние между осями (центрами) двух соседних отметок шкал, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы. Цена деления шкалы – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкал (1 мкм для оптиметра, длиномера и т.п.).

Градуированная характеристика — зависимость между значениями величин, на выходе и входе средства измерений. Градуировочную характеристику снимают для уточнения результатов измерений.

Диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, т. е. наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины. Например, для оптиметра типа ИКВ-3 диапазон показаний составляет $\pm 0,1$ мм.

Диапазон измерений — область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями средства измерений.

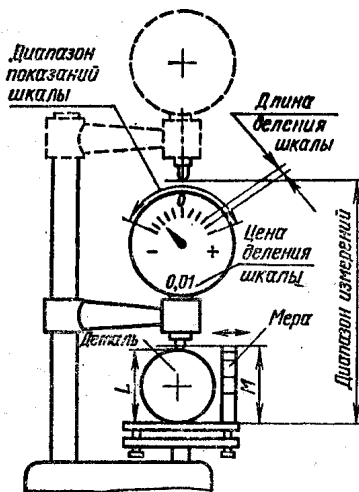


Рис. 2.1. Схема, поясняющая основные параметры средств измерений

Отсчет показаний измерительного средства выполняют в соответствии с уравнением:

$$A = M + \sum_{k=1}^p n_k i_k + m_p i_p, \quad (2.5)$$

где A — значение отсчета;

M — размер меры, по которому отсчетное устройство установлено на ноль;

n — число целых делений, отсчитываемое по шкалам отсчетного устройства;

i — цена деления шкалы;

k — номер шкалы,

m — доля деления шкалы с наименьшей ценой деления, оцененная визуально.

Влияющая физическая величина — физическая величина, не измеряемая данным средством, но оказывающая влияние на результаты измеряемой величины (например, температура, оказывающая влияние на результат измерения линейного размера).

Нормальные (рабочие) условия применения средств измерений — условия их применения, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной (рабочей) области значений.

Чувствительность измерительного прибора - отношение изменения сигнала на выходе измерительного приборам вызывающему его изменению измеряемой величины. Так, если при измерении диаметра вала с номинальным размером $\chi = 100$ мм изменение измеряемой величины $\Delta\chi = 0,01$ мм вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на $\Delta l = 10$ мм, абсолютная чувствительность прибора составляет $S = \Delta l / \Delta\chi; = 10/0,01 = 1000$, относительная чувствительность

$$S_0 = \Delta l (\Delta\chi / \chi) = 10 (0,01/100) = 10\ 000. \quad (2.6)$$

Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению. С изменением цены деления шкалы чувствительность прибора остается неизменной. На разных участках шкалы часто чувствительность может быть различной. Стабильность средства измерений — свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний).

Измерительные приборы бывают контактные (существует механический контакт с поверхностью контролируемого изделия) и бесконтактные (непосредственного соприкосновения измерительного наконечника с поверхностью контролируемого изделия нет). К последним, например, относятся оптические, радиоизотопные, индуктивные. Важной характеристикой контактных приборов является измерительное усилие, создаваемое в месте контакта измерительного наконечника с поверхностью контролируемого изделия и направленное по линии измерения.

В соответствии с техническим регламентом геометрический объект контроля содержит одну или несколько контрольных точек. Введем дополнительные термины, необходимые для оценки результатов контроля (измерений). Зона контроля (измерения) — область взаимодействия средства контроля (измерения) с объектом контроля (измерения). Контролируемая (измеряемая) поверхность — поверхность объекта контроля (измерения), на которой расположена одна или несколько контрольных точек. Линия контроля (измерения) — прямая, проходящая через контролируемый (измеряемый) размер. Плоскость контроля (измерения) — плоскость, проходящая через линию контроля (измерения) и выбранную линию расположения контрольных точек.

В технических регламентах выделены следующие общие для средств измерений структурные элементы: преобразовательный и чувствительный элементы, измерительная цепь, измерительный механизм, отсчетное устройство со шкалой и указателем и регистрирующее устройство. Кроме того, контактные измерительные приборы обычно снабжены одним или несколькими наконечниками. Измерительный наконечник — элемент в измерительной цепи, находящийся в контакте с объектом контроля (измерения) в контрольной точке под непосредственным воздействием измеряемой величины. Базовый наконечник — элемент измерительной цепи, расположенный в плоскости измерения и служащий для определения длины линии измерения. Опорный наконечник — элемент, определяющий положение линии измерения в плоскости измерения. Координирующий наконечник — элемент, служащий для определения положения плоскости измерения на объекте контроля (измерения).

2.1.4. Критерии оценки погрешностей измерений

Погрешности измерения. Под погрешностью измерения подразумевают отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Точность измерений — качество измерения, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность измерения может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности. Абсолютная погрешность измерения — разность между значением величины, полученным при измерении, и ее истинным значением, выражаемая в единицах измеряемой величины. Относительная погрешность измерения — отношение абсолютной погрешности, измерения к истинному значению измеряемой величины. Систематическая погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или изменяющаяся по определенному закону при повторных измерениях одной и той же величины; случайная погрешность — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся при этих условиях случайным образом. Следует выделять также грубую погрешность измерения, существенно превышающую ожидаемую погрешность.

В зависимости от последовательности причины возникновения различают следующие виды погрешностей. Инструментальная погрешность — составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств (качества их изготовления). Погрешность метода измерения — составляющая погрешности измерения, вызванная несовершенством метода измерений. Погрешность настройки — составляющая погрешности измерения, возникающая из-за несовершенства осуществления процесса настройки. Погрешность отсчитывания — составляющая погрешности измерения, вызванная недостаточно точным отсчитыванием показаний средств измерений (например, погрешность параллакса). Погрешность поверки — погрешность измерений при поверке средств измерений. Таким образом, в зависимости от способа

выявления следует различать поэлементные (составляющие) и суммарные погрешности измерения.

Результат наблюдения — значение величины, полученное при отдельном наблюдении; результат измерения — значение величины, найденное путем ее измерения, т. е. после обработки результатов наблюдения.

Поправка — значение величины, одноименной с измеряемой, прибавляемое к полученному при измерении значению величины с целью исключения систематической погрешности. Сходимость — качество измерений, отражающих близость результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях, воспроизводимость — то же, в различных условиях (в разное время, в различных местах, различными методами и средствами). Точность отражает близость к нулю случайных и систематических погрешностей средства измерения, правильность — систематических, сходимость — случайных. Для средств измерения различают статическую погрешность как отклонение постоянного значения измеряемой величины на выходе средства измерения от истинного ее значения в установившемся состоянии и динамическую погрешность как разность между погрешностью средства измерения в динамическом режиме (в неустановившемся состоянии) и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

Погрешность средства измерения, возникающая при использовании его в нормальных условиях, когда влияющие величины находятся в пределах нормальной области значений, называют основной. Если значение влияющей величины выходит за пределы нормальной области значений, появляется дополнительная погрешность.

Обобщенной характеристикой средства измерений, определяемой пределами основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерения, является класс точности средства измерений. Класс точности характеризует свойства средства из-

мерения, но не является показателем точности выполненных измерений, поскольку при определении погрешности измерения необходимо учитывать погрешности метода, настройки и др.

2.2. Лабораторные работы

2.2.1. Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТОМ

Цель работы: ознакомление с конструкцией штангенинструментов и приобретение навыков работы с инструментами.

Оборудование, приборы, инструменты: штангенциркуль ШЦ-I, штангенциркуль ШЦ-II, штангенциркуль ШЦ-III, штангенглубиномер, штангенрейсмас.

Под общим названием "штангенинструмент" объединяется большая группа измерительных средств для измерения и разметки линейных размеров.

Отличительной особенностью этих измерительных средств является то, что в качестве отсчетного устройства используется шкала измерительной линейки (штанга) с делениями через 1 мм, а отсчитывание частей деления на этой основной шкале производится с помощью вспомогательной (дополнительной) шкалы - нониуса.

Нониус, как вспомогательная шкала, имеет небольшое число интервалов (10—20) по сравнению с основной шкалой. Первый штрих нониуса является началом вспомогательной шкалы и одновременно индексом (указателем) значения размера на основной шкале. Если первый штрих (нулевой штрих) нониуса совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы, то отсчитывают целое (рис. 2.2, а) значение размера только по основной шкале.

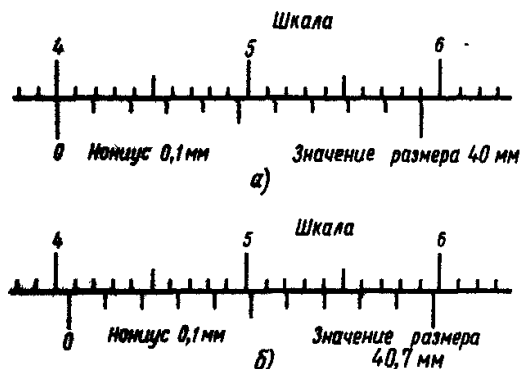


Рис. 2.2. Отсчет по шкале и нониусу

Если же нулевой штрих нониуса не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то отсчет получается из двух частей. Целое значение размера, кратное 1 мм, берут по основной шкале по ближайшему меньшему значению (слева от нулевого штриха нониуса) и добавляют дробное значение размера по нониусу в зависимости от того, какое деление нониуса совпадает с каким-нибудь делением основной шкалы.

Так, на рис. 2.2, б отсчет равен 40,7 мм, поскольку к нулевому штриху нониуса с левой стороны ближе всего находится штрих основной шкалы с цифрой 4, что означает 4 см, а точно совпадает с делением основной шкалы 7-й штрих нониуса. Поскольку величина отсчета на этом нониусе равна 0,1 мм, то, следовательно, совпадение 7-го штриха нониуса показывает, что дробное значение размера равно 0,7 мм ($0,1 \times 7$), а весь размер равен 40,7 мм.

Величина отсчета по нониусу для штангенинструмента у нас в стране принята 0,1 и 0,05 мм. Ранее выпускали измерительные средства с отсчетом 0,02 мм, но исследования показали, что погрешности при таком отсчете не меньше погрешностей при отсчете 0,05 мм.

При проектировании нониусов устанавливают определенные связи между шкалой нониуса и основной шкалой с учетом следующих закономерностей:

цена деления нониуса c равна цене деления основной шкалы a , разделенной на число делений нониуса n

$$c = a / n,$$

длина деления нониуса

$$b = \gamma a - c,$$

где γ – модуль нониуса, характеризующий растянутость нониуса относительно основной шкалы.

Длина нониуса

$$l = nb.$$

Наиболее распространенными универсальными средствами измерения такого типа являются штангенциркули, штангенглубиномеры и штангенрейсмасы. Отличие их конструктивных форм в зависимости от назначения заключается в конфигурации измерительных поверхностей и их взаимном расположении.

Штангенциркули (рис. 2.3). Конструкцию штангенциркуля, в принципе, можно представить как усовершенствованную конструкцию масштабной линейки. С этой целью на конце линейки 1 (штанга), имеющей шкалу с делениями через 1 мм, находится неподвижная измерительная губка, измерительные поверхности которой перпендикулярны линейке. Вторая измерительная губка находится на рамке 2, перемещаемой по линейке. На этой же рамке находится нониус 4 для отсчета величины перемещения губки на рамке 2. Таким образом, наружный измеряемый размер определяется по расстоянию между измерительными губками, которые имеют плоские измерительные поверхности небольшой ширины. Остальные элементы конструкции имеют вспомогательный характер, облегчая использование штангенциркуля или расширяя область его применения. Так, в штангенциркуле, показанном на рис. 2.3, *в*, верхние губки предназначены в основном для разметки поверхности и для измерения размеров внутри узких проточек. Устройство *б*, называемое микрометрической подачей, предназначено для медленного перемещения рамки по штанге. При пользовании этой микроподачей вспомогательную рамку микроподачи скрепляют со штангой винтом *3а*, стопор *3* отпуска-

ют и вращением гайки 7 перемешают рамку. Микроподачу в основном используют при установке на штангенциркуле размера для разметки. Большинство штангенциркулей для измерения внутренних размеров имеют либо отдельные измерительные губки (рис. 2.3, а), либо специальные измерительные поверхности основных губок (рис. 2.3, в, г).

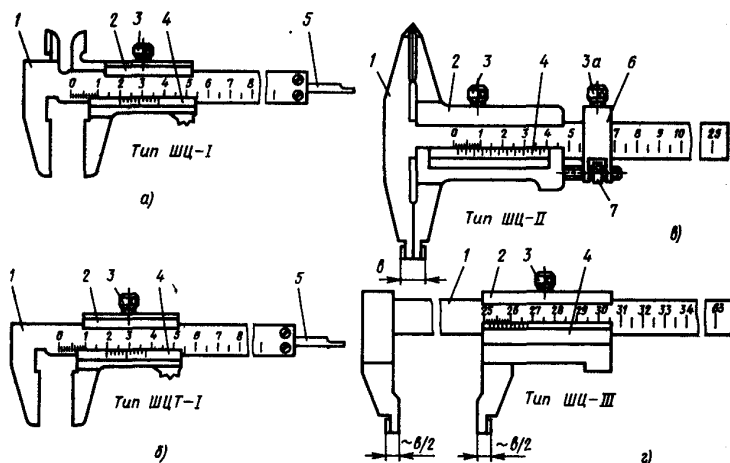


Рис. 2.3. Штангенциркули:

- а - с раздельными губками для наружных и внутренних измерений;
- б — только для наружных измерений;
- в — с разметочными губками (верхние) и губками (нижние) для наружных и внутренних измерений;
- г - то же, но без разметочных губок (1 - штанга, 2 - рамка, 3 - зажим рамки, 3а - зажим рамки микроподачи, 4 - нониус, 5 - линейка глубиномера, 6 - микрометрическая подача, 7 - гайка)

У штангенциркулей, показанных на рис. 2.3, в и г, губки для измерения внутреннего размера имеют цилиндрическую поверхность. Размер этих губок в сведенном состоянии обычно бывает $b = 10$ мм и маркируется на боковой поверхности одной из губок. Если после ремонта этот размер меняется, то

изменяется и маркировка, поскольку нулевой отсчет по шкале и нониусу, соответствует наружным измерениям. Поэтому когда отсчитывают размер при внутренних измерениях, к отсчету по шкале и нониусу штангенциркуля необходимо добавить значение размера губок для внутренних измерений (т. е. размер, указанный на одной из губок).

Типоразмеры штангенциркулей охватывают диапазон измерений до 2000 мм. Однако наиболее распространены штангенциркули с диапазоном измерений от 0 до 125 (или 140) мм (рис. 2.3, а, б) и с диапазоном измерений от 0 до 320 (200 или 250) мм (рис. 2.3, в, г). Штангенциркули первого типа обычно имеют отсчет по нониусу 0,1 мм, а второго — как 0,1, так и 0,05 мм. Штангенциркули с большим диапазоном измерения обычно имеют величину отсчета 0,1 мм. Практически штангенциркули для размеров свыше 500 мм не выпускаются, хотя и известны.

Штангенглубиномеры (рис. 2.4). На общей базе штанги и нониуса конструкция этого измерительного средства приспособлена для измерения глубин отверстий, пазов, высоты уступов и т. д.

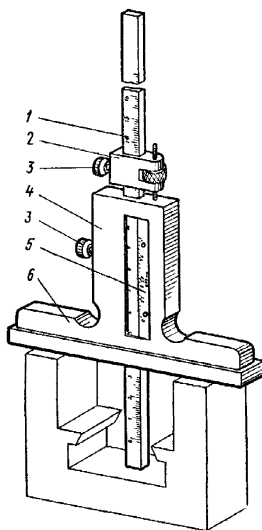


Рис. 2.4. Штангенглубиномер

Основанием штангенглубиномера является рамка 4, снабженная снизу опорой 6 с измерительной поверхностью (рис. 2.4). Сквозь рамку проходит штанга со шкалой 1 и измерительной поверхностью на торце. Штанга 1 расположена и передвигается перпендикулярно измерительной поверхности опоры 6. Нониус 5 нанесен на отдельной пластине и укреплен в рамке 4 параллельно шкале штанги. Микрометрическая подача 2 рамки (3 – зажим) на штангенглубиномере такая же как и на штангенциркуле ШЦ-II.

Типоразмеры штангенглубиномеров обычно охватывают диапазон измерений не более 500 мм. При большом диапазоне измерений отсчет по нониусу чаще всего составляет 0,1 мм, на меньших пределах (200, 300 мм) отсчет составляет 0,05 мм.

Штангенрейсмасы (рис. 2.5). Основное назначение этого устройства - разметка деталей, но оно может быть использовано для измерения высоты деталей.

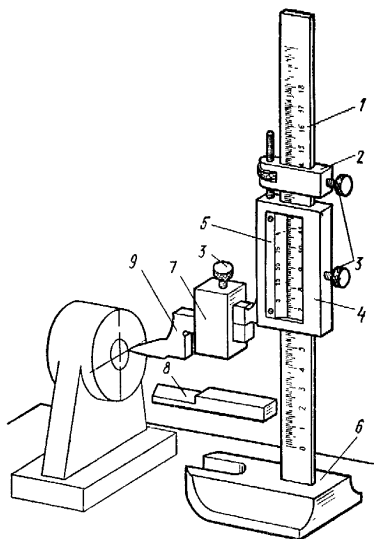


Рис. 2.5. Штангенрейсмас

Конструкция штангенрейсмаса приспособлена для разметки и измерений от плоской поверхности, на которой размещаются как штангенрейсмас, так и размечаемая или измеряемая деталь (часто говорят, что "штангенрейсмас предназначен для работы от плиты"). Опорной деталью штангенрейсмаса является основание 6 (рис. 2.5), в котором укреплен штанга 1 со шкалой, расположенная перпендикулярно опорной плоскости основания. По штанге передвигается рамка 4 с выступом для крепления ножек, а в ней параллельно шкале штанги размещен нониус 5.

Микроподача 2 рамки (3 – зажим) здесь применена такая же, как и на штангенциркуле ШЦ-II и штангенглубиномере. На выступе рамки с помощью державки 7 закрепляются ножки: измерительная 8 или разметочная 9. Шкалы штанги и нониуса штангенрейсмасов выполняют такие же, как и на штангенциркулях и штангенглубиномерах.

Типоразмеры штангенрейсмасов охватывают диапазон до 2500 мм, но наиболее распространены для размеров до 250, 400 мм при отсчете 0,05 мм. Штангенрейсмасы больших размеров изготавливают значительно реже, и они имеют отсчет 0,1 мм.

Погрешности измерения штангенинструментом. Погрешность измерения зависит в значительной мере от величины отсчета и значения измеряемого размера. Погрешность измерения штангенциркулем наружных размеров до 500 мм при величине отсчета 0,05 мм будет составлять 0,1 мм (т. е. равна удвоенному значению величины отсчета). При измерении внутренних размеров тем же штангенциркулем погрешность измерения составляет 0,15—0,25 мм для этого же диапазона размеров. При измерении штангенциркулем с отсчетом 0,1 мм наружных размеров в том же диапазоне, т. е. до 500 мм, погрешность составляет 0,15—0,25 мм, а для внутренних размеров 0,2—0,3 мм.

Погрешность измерения штангенглубиномером с отсчетом 0,05 мм глубин до 300 мм составляет 0,1—0,15 мм, а при отсчете 0,1 мм - 0,2 - 0,3 мм.

Необходимо обратить внимание на то, что указаны погрешности измерения, а не погрешности измерительного средства.

Погрешность только самого штангенинструмента в условиях его поверки, т. е. погрешность, которая нормируется, будет меньше (обычно не более величины отсчета). Но погрешность при поверке — это частный случай погрешности измерения.

Планирование измерений

При планировании измерений выбирают оптимальное число точек или кривых измерения, поскольку слишком большое число измерений приводит к удорожанию и усложнению эксперимента и может не дать новых сведений, а заниженное число измерений не позволяет надежно оценить выбранную точность метода или средства измерений. Используя математическое доказательство подобия, правомерность сравнения и моделирование процессов измерения и число предварительных наблюдений, заведомо меньшее, чем требуемое, можем вычислить необходимое число наблюдений.

Определение наименьшего числа измерений для достижения заданной точности измерения проводится согласно п. 2.1.2.

Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров должны соответствовать стандартам.

Задание

Лабораторная работа включает в себя четыре этапа, выполняемые под руководством преподавателя и лаборанта:

- 1) Ознакомиться с устройством и методикой измерений штангенинструментом;
- 2) Определить числовые значения основных метрологических характеристик инструмента;
- 3) Спланировать измерения с целью выбора их оптимального количества;
- 4) Провести измерения заданных размеров деталей штангенинструментом.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в соответствии с пунктами задания.

Содержание отчета

В отчете указывается цель работы и задание, список используемого для выполнения работы оборудования, инструментов и их назначение. Метрологические характеристики штангенинструментов представляются в виде таблицы 2.1.

Таблица 2.1

Метрологические характеристики инструментов

| Название основных метрологических характеристик | Штангенциркуль | Штанген-глубиномер | Штанген-рейсмас |
|---|----------------|--------------------|-----------------|
| Пределы измерений | | | |
| Цена деления основной шкалы | | | |
| Модуль нониуса | | | |
| Точность измерения (отсчета) | | | |
| Результат проверки ноль-пункта | | | |

Оформляется эскиз детали и схема измерения. Приводятся результаты всех измерений, расчеты по определению оптимального числа измерений, оценка абсолютной и относительной погрешности измерения.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Что относится к средствам измерений, применяемым в машиностроении;
- 2) Перечислить универсальные измерительные инструменты;
- 3) Для каких измерений применяется штангенинструмент;
- 4) Что такое нониус;
- 5) Как производится расчет нониуса;
- 6) Какие типы штангенциркулей вы знаете и чем они отличаются;
- 7) Для каких работ применяются штангенглубиномеры;
- 8) Для каких работ применяются штангенрейсмасы;
- 9) Как выбирается оптимальное число измерений;
- 10) Какие метрологические характеристики рассматриваются у штангенинструментов.

2.2.2. Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ И РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Цель работы: ознакомление с конструкцией микрометрического инструмента - гладкими микрометрами, микрометрическими нутромерами, микрометрическими глубиномерами и приобретение навыков измерения ими.

Оборудование, приборы, инструменты: гладкий микрометр, микрометрический глубиномер, микрометрический нутромер, стойка, установочные меры, выполненные в виде цилиндров с отверстием и плоскими измерительными торцами, установочная мера в виде скобы для установки микрометрического нутромера на нуль, набор концевых мер, державка с боквинами, комплект удлинителей.

Общие положения

Микрометрические инструменты относятся к группе универсальных измерительных приборов и инструментов. Они предназначены для абсолютных измерений наружных и внутренних размеров глубин и высот деталей.

Наиболее распространенными видами микрометрических инструментов являются: микрометры; микрометрические нутромеры; микрометрические глубиномеры.

Микрометр называется измерительное средство с корпусом в виде скобы и двухточечной схемой измерения, в котором перемещение одной из точек определяется с помощью резьбовой пары - винта и гайки.

Схема и конструкция микрометра. В корпусе микрометра в виде скобы 1 (рис. 2.6, позиции на рис. *а*, *б*, *в* общие) заключены неподвижная пятка 2, которая реализует неподвижную точку в двухточечной схеме измерения, и гайка 6 резьбовой пары. С гайкой 6 соединен неподвижно стебель 3. Винт 4 скреплен с барабаном 5, на конце узла винт - барабан находится устройство 7, обеспечивающее измерение с определенным усилием. На стебле 3 вдоль оси проведена сплошная линия 8

(рис. 2.6, в), которая используется для отсчета целых оборотов винта 4 и вместе с ним и барабана 5. Полные обороты отсчитывают при совпадении нулевой отметки на барабане 5 с линией 8 на стебле 3. На барабане 5 на скошенной поверхности нанесены деления 10, служащие для отсчета части полного оборота винта 4 и барабана 5. Число таких делений зависит от шага резьбы.

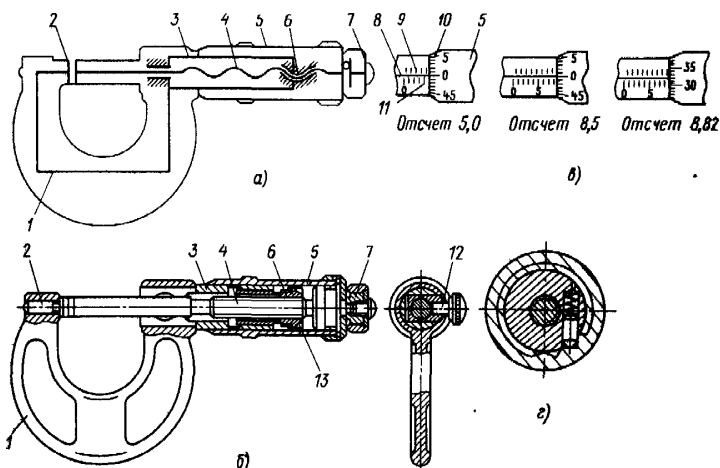


Рис. 2.6. Микрометр гладкий (завод "Калибр"):

a – схема;

б – конструкция для диапазона измерения 0 – 25 мм;

в – отсчет по шкале на стебле и барабане; *г* – "трещотка"

Наиболее часто шаг резьбы делают равным 0,5 мм и тогда на барабане наносят 50 интервалов, т. е. при повороте на один интервал осевое перемещение винта (барабана) будет равно $0,5 / 50 = 0,01$ мм.

Деления на барабане выполняют такую же функцию, как и деления нониуса, и также позволяют отсчитывать дробные значения по основной шкале, наносимой на стебле микрометра и имеющей интервал деления, равный шагу резьбы (т. е. наиболее часто цена деления шкалы составляет 0,5 мм). На

стебле при шаге резьбы 0,5 мм штрихи шкалы наносят для удобства отсчета с двух сторон от осевой линии.

На рис. 2.6, в нижние деления 11 соответствуют значению с окончаниями 1 мм и оцифрованы через 5 делений и верхние 9 с окончанием на 0,5 мм, а на той и на другой части шкалы интервалы между штрихами равны 1 мм. Винт, используемый в микрометрах или других устройствах, служащий для определения величины перемещения или для измерения, или установки размера называют микрометрическим винтом или сокращенно микровинтом. Резьбовую пару для указанных случаев применения также часто называют сокращенно микропарой.

В конструкции микропары для обеспечения беззазорного соприкосновения резьбы винта и гайки предусмотрена регулировка, которая осуществляется деформацией гайки 6. Для этого гайка 6 обычно имеет несколько пазов, проходящих вдоль оси (разрезная гайка). Часто наружную поверхность ее делают в виде конуса, а на цилиндрической поверхности гайки нарезают резьбу. При вращении регулировочной гайки 13 ее конусная поверхность через конусную поверхность гайки 6 сжимает гайку или отпускает в зависимости от направления вращения гайки 13. Устройство 7, создающее измерительное усилие, обычно бывает двух принципов действия: в виде трещотки или в виде фрикциона. Трещотка (рис. 2.6, г) представляет собой храповой механизм. На одной торцовой поверхности втулки, скрепленной с микровинтом, имеются зубцы, на другой поверхности, за которую вращается винт, установлен подпружиненный цилиндр со скосом ("зуб"). При вращении в направлении соприкосновения измерительных поверхностей с деталью или между собой поджим этих поверхностей будет происходить с усилием, обеспечиваемым пружиной, поджимающей зуб. При дальнейшем вращении храповой механизм проскальзывает и раздается характерный треск, когда зуб соскальзывает со скосов. В некоторых механизмах используется фрикционная пара, в которой измерительное усилие обеспечивается усилием поджима фрикционных поверхностей.

В конструкциях микрометров существует большое разнообразие конструкций стопорных устройств 12, например в виде втулки и винта (рис. 2.6, б), цанг и других устройств. Микровинт 4, барабан 5 и трещотка 7 обеспечивают возможность установки микрометра на нулевое деление. В этом случае сводятся до соприкосновения измерительные поверхности. При раскреплении трещотки 7 с барабаном 5 последний поворачивается относительно винта 4 до совмещения нулевого деления барабана 5 и стебля 3.

Наибольшее распространение имеют и наиболее часто применяются на производстве гладкие микрометры (см. рис. 2.6). Типоразмеры микрометров в значительной мере предопределяются длиной микровинта, обеспечивающего диапазон измерений. Установлено, что оптимальной длиной резьбы микровинта является длина 25 мм. Поэтому обычно типоразмеры микрометров изготавливают с диапазоном измерения через 25 мм, т. е. 0—25, 25—50, 50—75, 75—100 и т. д. Наибольший размер, измеряемый микрометрами, обычно 600 мм. У микрометра для размеров свыше 100 мм диапазон измерений обычно составляет не 25 мм, а 100 мм, что достигается перестановкой неподвижных пяток или эти пятки делают сменными. Отсчитывать размер на этих микрометрах непосредственно по микропаре можно только в пределах 25 мм.

Все микрометры, кроме тех, у которых измерение начинается от нуля, снабжаются так называемыми установочными мерами, представляющими собой цилиндр, у которого размер между торцовыми поверхностями равен нижнему пределу измерения микрометра (например, микрометр с диапазоном измерения 75—100 мм имеет установочную меру размером 75 мм). С помощью этой меры микрометр устанавливают на начало отсчета (на ноль).

Погрешности измерения микрометром. В общем случае погрешность измерения микрометром возникает от погрешности микрометра, установочной меры или блока концевых мер, отклонений от параллельности измерительных поверхностей, разгиба скобы под действием усилия, погрешно-

сти от отсчета показаний, погрешности от температурных и контактных деформаций. Погрешность от микрометра обычно нормируется равной от 4 до 10 мкм в зависимости от диапазона измерений при поверке по концевым мерам длины.

Микрометрический нутромер (штихмас) предназначен для измерения внутренних размеров деталей.

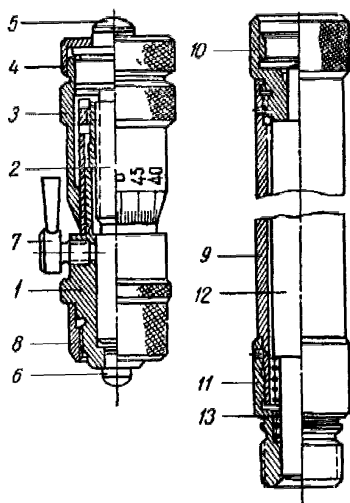


Рис. 2.7. Микрометрический нутромер

Он отличается от микрометра отсутствием скобы, а также некоторыми конструктивными особенностями: отсутствием трещотки (усилие измерения регулируется контролером), наличием на обоих концах головки сферических измерительных наконечников.

Микрометрический нутромер (рис. 2.7) имеет стебель 1, в отверстии которого располагается микрометрический винт 2. На винт насажен барабан 3 с установочной гайкой 4. Конец микрометрического винта 5 имеет сферическую форму и служит одной измерительной поверхностью. Вторую измерительную поверхность образует наконечник 6, запрессованный в отверстие стебля. Стопор 7 закрепляет микрометрический винт в определенном положении.

Микрометрические нутромеры изготавливаются с пределами измерения 50 - 75, 75 - 175, 75 - 600, 150 - 1250, 800 - 2500, 1250 - 4000, 2500 - 6000 и 4000 - 10000 мм. У нутромеров с нижним пределом измерения 50 и 75 мм длина шкалы стебля микрометрической головки 13 мм, у нутромеров с нижним пределом измерения свыше 75-25 мм. Расширение пределов измерения до указанных выше значений достигается за счет набора удлинителей, прилагаемых к каждому инструменту.

Так, нутромер с пределами измерения 75-175 мм имеет следующие удлинители: 13, 25 и 50 мм. Удлинители соединяются с головкой при помощи резьбы. Они состоят из трубки 9 и соединительных муфт 10 и 11. В отверстия муфт входит стержень 12, имеющий на концах сферические поверхности. Пружина 13 отжимает стержень к муфте 10. Поэтому в нерабочем положении его сферический наконечник не выступает за пределы муфты, это предохраняет его от повреждения. Для увеличения пределов измерения нутромером со стебля свинчивают предохранительную гайку 8 и на ее место навинчивают муфту 10 удлинителя. При этом стержень 12 сжимает пружину и измерительная поверхность его выходит наружу. При необходимости большего увеличения пределов измерения на муфту 11 устанавливается следующий удлинитель. Поскольку касание микрометрической головки с удлинителем, а также удлинителей между собой происходит по сферическим поверхностям, неточности резьбы, по которой происходит соединение, не влияют на результаты измерения.

Отсчет размера у нутромера производится так же, как и у микрометра. При наличии удлинителей необходимо добавлять к показаниям шкалы размеры удлинителей, которые маркируются на их боковой поверхности. Установка и проверка штихмаса производится по специально прилагаемой к нему установочной скобе, изготовленной по наименьшему предельному размеру.

Погрешность измерения микрометрическими нутромерами зависит от ряда составляющих, которые имеют место для всех нутромеров: совмещения линии измерения в плоскости,

перпендикулярной оси измеряемого отверстия; совмещения линии измерения в плоскости, проходящей через ось; динамики процесса совмещения линии измерения; настройки прибора. Дополнительная погрешность возникает от усилия свинчивания удлинителей.

Погрешность нутромера обычно нормируется в зависимости от измеряемого размера от 0,006 (для размеров 50-125 мм) до 0,180 мм (для размера 4000 - 10000 мм). Погрешность измерения микрометрическими нутромерами при измерениях размеров от 50 до 500 мм можно обеспечить не более 0,015-0,030 мм при настройке по установочной мере и 0,01-0,02 мм при аттестации собранного нутромера.

Микрометрические глубиномеры (рис. 2.8) служат для измерения глубины отверстий, пазов, выточек, уступов и т. д.

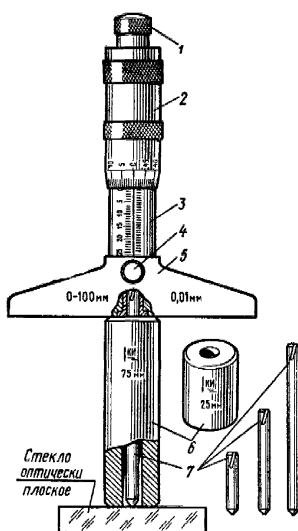


Рис. 2.8. Микрометрический глубиномер

Основанием микрометрического глубиномера является поперечина 5, в которую запрессован стебель 3 со шкалой. В стебле 3 запрессована микрогайка, а в нее ввинчен микровинт, совместно они образуют такую же микропару, как и в микро-

метре гладком. На микровинте укреплен барабан 2 со шкалой, а на барабане расположена трещотка 1. Требуемое во время измерения положение микровинта закрепляется стопором 4.

При вращении барабана 2 вместе с ним вращается микровинт и ввинчивается в микрогайку, причем выдвигается из основания на требуемую глубину. Глубиномер устанавливается на "0" по установочным мерам-втулкам 6 на плоской стеклянной пластине или другой точной плоской поверхности.

В торце микровинта выполнено отверстие, в которое вставляются сменные измерительные стержни 7. Особенность микрометрического глубиномера в том, что числовые значения штрихов шкалы стебля расположены, уменьшаясь при удалении барабана от основания 5, так как соответственно уменьшаются размеры глубины измеряемого уступа. Это противоположно расположению цифр на шкале стебля гладкого микрометра. Числа значений штрихов на барабане микрометрического глубиномера также расположены противоположно числам и шкале барабана гладкого микрометра.

Пределы измерения глубиномером обычно до 100 мм, иногда до 200 мм.

Задание

Лабораторная работа включает в себя шесть этапов, выполняемые под руководством преподавателя и лаборанта:

- 1) Ознакомиться с устройством и методикой измерений микрометрическими инструментами;
- 2) Определить числовые значения основных метрологических характеристик инструмента;
- 3) Спланировать измерения с целью выбора их оптимального количества;
- 4) Провести измерения заданных размеров деталей микрометрическими инструментами;
- 5) С помощью микрометра и микрометрического нутромера провести измерения размеров для установления отклонений формы в продольном и поперечном сечениях у деталей типа валов и втулок;

б) С помощью микрометрического глубиномера провести измерения размеров для установления отклонений расположения поверхностей ступенчатой детали.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в соответствии с пунктами задания.

Содержание отчета

В отчете указывается цель работы и задание, список используемого для выполнения работы оборудования, инструментов и их назначение. Метрологические характеристики микрометрических инструментов представляются в виде таблицы.

Оформляется эскиз детали и схема измерения. Приводятся результаты всех измерений, расчеты по определению оптимального числа измерений, оценка абсолютной и относительной погрешности измерения, результаты выявления отклонений формы и расположения на исследованных деталях. Дать заключение о годности деталей.

Таблица 2.2

Метрологическая характеристика инструментов

| Наименование инструмента | Завод изготовитель | Пределы измерения | Цена деления | |
|--------------------------|--------------------|-------------------|--------------|-------------|
| | | | на стебле | на барабане |
| | | | | |

Вопросы для самоконтроля

- 1) Перечислить микрометрические измерительные инструменты;
- 2) Для каких измерений применяется микрометр;
- 3) Для каких измерений применяется микрометрический нутромер;
- 4) Для каких измерений применяется микрометрический глубиномер;
- 5) Чем определяется цена деления микрометрических инструментов;

- 6) Как проводится проверка ноль-пункта микрометрических инструментов;
- 7) По каким показателям дается заключение о годности детали;
- 8) Какие метрологические характеристики рассматриваются у микрометрических инструментов.

2.2.3. Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ И РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ

Цель работы: ознакомление с конструкцией механических приборов – индикатором часового типа, индикаторной и рычажной скобами, рычажным микрометром, индикаторным нутромером; ознакомление с плоскопараллельными концевыми мерами длины.

Оборудование, приборы, инструменты: индикаторы часового типа, индикаторные и рычажные скобы, рычажные микрометры, стойка или зажимное приспособление, индикаторные нутромеры; набор плоскопараллельных концевых мер длины, объекты измерения (детали).

Общие положения

В работе рассмотрены измерительные средства, в которых преобразовательный механизм построен на механическом принципе действия, т. е. преобразование малых перемещений измеряемых величин в большие перемещения на отсчетном или регистрирующем устройстве производится с помощью механических передач.

Универсальные измерительные средства с механическим преобразованием в зависимости от вида измеряемого размера можно разделить на средства измерения наружных и внутренних размеров; в зависимости от конструктивного оформления и области назначения – на измерительные головки и измерительные средства с корпусом в виде скобы.

Измерительными головками называются отсчетные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки и имеющие шкалу, по которой отсчитывают величины перемещений наконечника.

В качестве отдельного измерительного устройства головки использоваться не могут и для измерения их устанавливают в специальных приборах, где требуется отсчитать какие-либо перемещения.

Наиболее оправдали себя и получили широкое распространение головки, в которых используются преобразующие механизмы, содержащие в себе только зубчатые передачи, рычажные вместе с зубчатыми передачами и передачи с пружинными механизмами.

Индикаторы часового типа можно применять для относительных и абсолютных измерений. Конструкция индикатора часового типа представляет собой измерительную головку с продольным перемещением наконечника.

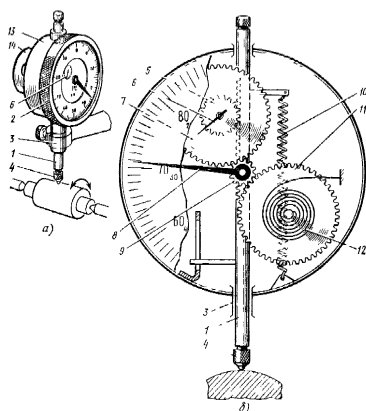


Рис. 2.9. Индикатор часового типа:
a – общий вид, *б* – схема зубчатой передачи

Основанием индикатора (рис. 2.9.) является корпус 13, внутри которого смонтирован преобразующий механизм - речно-зубчатая передача. Через корпус 13 проходит измери-

тельный стержень 1 с наконечником 4. На стержне нарезана рейка. Движения измерительного стержня-рейки 1 передаются зубчатыми колесами - реечным 5, передаточным 7 и трибкой 9 основной стрелке 8, величина поворота которой отсчитывается по круглой шкале - циферблату. Для установки на "0" круглая шкала поворачивается ободком 2.

Круглая шкала индикатора часового типа состоит из 100 делений, цена каждого деления - 0,01 мм. Это означает, что при перемещении измерительного наконечника на 0,01 мм стрелка индикатора перейдет на одно деление шкалы.

Типоразмеры индикатора и технические характеристики. Если взять индикатор часового типа в отдельности, т. е. не установленный в штативе или стойке, то для него диапазон показаний и диапазон измерений имеет один и тот же смысл. Подавляющее большинство индикаторов имеет диапазон показаний 2 (или 3), 5 или 10 мм. Значительно реже изготавливают индикаторы с диапазоном показаний 25 и 50 мм. Индикатор часового типа имеет цену деления 0,01 мм.

Измерительное усилие индикаторов часового типа обычно находится в пределах 0,8 – 2 Н.

Погрешность измерения индикатором. Погрешности индикатора нормируются в зависимости от используемого диапазона показаний (в зависимости от перемещения измерительного стержня). Обычно на участке 0 - 1 мм погрешность находится в пределах 5 - 8 мкм; на участке 1 - 2 мм – 10 - 15 мкм; на участке до 3 мм - до 15 мкм; на участке до 5 - 10 мм погрешность находится в пределах 18 - 22 мкм.

Таким образом, на небольшом участке погрешность индикатора находится в пределах цены деления. На больших пределах погрешность превышает цену деления. Это показывает, что отсчитывать доли от цены деления (т. е. тысячные доли миллиметра — микрометры) на индикаторе часового типа нецелесообразно.

При измерении колебаний размера погрешность измерения зависит от используемого перемещения измерительного стержня, жесткости установочных узлов (штативов и стоек),

от погрешности отсчета показаний, связанной с параллаксом. При использовании перемещения измерительного стержня до 10 мм погрешность измерения биения составит от 15 мкм (для размеров деталей 1—3 мм) до 20 мкм (для размеров 350—500 мм). При измерении биений в пределах 0,1 мм погрешность измерения равна 10 мкм и практически не зависит от размера детали. При измерении биений, равных 2—3 ценам деления (20—30 мкм), погрешность в большинстве случаев составляет 5 мкм. При этом имеется в виду, что измерение производится с использованием штативов, имеющих достаточную жесткость.

При измерении размеров деталей сравнением с размерами концевых мер длины погрешность измерения зависит также от точности используемых концевых мер длины и от температурных условий, при которых производится измерение. В зависимости от этих факторов погрешность измерения может составлять от 5 до 40 мкм.

Скоба индикаторная (рис. 2.10). Основанием индикаторной скобы служит корпус-скоба 5, снабженная выемкой для руки. В рабочей выемке скобы расположены находящиеся на одной измерительной оси с одной стороны подвижная пятка 2, воспринимающая изменения размеров измеряемой детали, а с другой стороны - переставная пятка 1. Сбоку установлен упор 6. Движения подвижной пятки 2 передаются измерительному наконечнику индикатора часового типа 4, служащего здесь измерительной головкой. т. е. преобразующего измерения размера детали, воспринятые подвижной пяткой, в перемещения основной стрелки.

Плотность контакта измерительной поверхности подвижной пятки 2 с поверхностью детали, введенной в рабочую выемку скобы, обеспечивается суммой сил пружины измерительного усилия 3 скобы и пружины измерительного усилия индикатора часового типа 4.

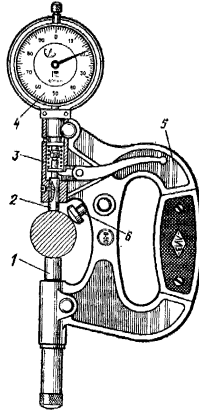


Рис. 2.10. Скоба индикаторная

Индикаторная скоба устанавливается на размер по образцовому аттестованному валику или по блоку концевых мер длины (КМД), равному наибольшему предельному размеру измеряемой детали.

Основные параметры индикаторной скобы: диапазоны измерения 0 – 50, 50 – 100, 100 – 200, 200 – 300, 300 – 400, 400 – 500 мм, ход подвижной пятки – 3 мм, цена деления головки 0,01 мм.

Наиболее распространены измерения этими скобами линейных размеров деталей цилиндрической формы в серийном производстве машин. Скобы удобны в применении, производительны, но обладают относительно невысокой точностью. Чаще всего ими измеряют гладкие валы после токарной обработки резцами или после круглой шлифовки, но при допусках на размер не менее 0,05 мм.

Скоба рычажная (рис. 2.11). В устройстве рычажной и индикаторной скоб много общего. Рычажная скоба также не имеет собственного размерного устройства и также измерение ею производится методом сравнения с мерой; основанием рычажной скобы также является корпус-скоба, но на этом аналогия и заканчивается.

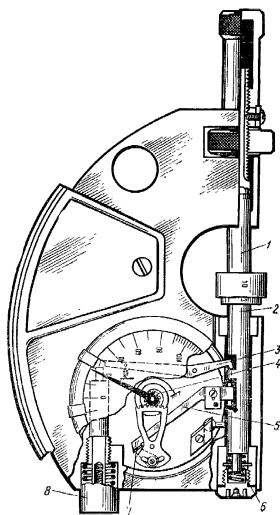


Рис. 2.11. Скоба рычажная

Скоба-корпус у рычажной скобы обладает значительно большей жесткостью, чем у индикаторной. Подвижная пятка 2 и переставная пятка 1 у рычажной скобы значительно массивнее, обладают большими измерительными поверхностями и их перемещения происходят гораздо точнее. Основное отличие рычажной скобы — в устройстве подвижной пятки 2. Эта пятка имеет две выемки в цилиндрической поверхности. В одну из них входит рычаг 3 арретира 8, а во вторую — наконечник передаточного рычага 5, принадлежащего к преобразующей передаче отсчетной головки, вмонтированной в корпус скобы. Эта передача использована от рычажно-зубчатой индикаторной головки (ИГ) и отличается только тем, что компенсатор 7 здесь повернут на 80° . Такое использование дает возможность заводу-изготовителю головок ИГ и рычажных скоб использовать один и тот же точный механизм на сборке двух разных средств измерения. Движение подвижной пятки 2 передается стрелке 4 отсчетной головки. В заднем торце подвижной пятки 2, противоположном измерительной поверхно-

сти этой пятки, выполнена ступень, на которую надета и упирается пружина измерительного усилия 6 рычажной скобы.

Основные параметры рычажной скобы: диапазоны измерения 0 - 25; 25 - 50; 50 - 75; 75 - 100; 100 - 125; 125 - 150 мм. Цена деления, 2 и 5 мкм.

Меньшая величина цены деления шкал отсчетных устройств 2 и 5 мкм и относительно меньшие погрешности измерения существенно отличают точность измерения рычажными скобами от измерения индикаторными скобами или гладкими микрометрами. Это и определяет их использование для измерения деталей с более жесткими допусками. В основном это наиболее точные детали двигателей, турбин, станков; инструменты; детали машин, сопрягаемые с подшипниками качения.

Микрометр рычажный (рис. 2.12). Рычажный микрометр отличается от обычного, гладкого микрометра на первый взгляд незначительно—такой же барабан, стембель, микрометрическая пара (микрогайка 1 и микровинт 2), пятка 3. Но трещотки нет, пятка здесь подвижная и измерительное усилие вместо трещотки определяется пружиной 4, которая прижимает подвижную пятку 8 к поверхности детали, а деталь к торцу микровинта.

Конструктивная особенность рычажного микрометра заключается в наличии двух зон отсчета: первая — по шкалам стембля и барабана, а вторая — по круговой шкале измерительной головки типа ИГ. Эта особенность создает рычажному микрометру одному ему присущие возможности - универсальность, точность и производительность одновременно. Помимо этого рычажный микрометр имеет свое размерное устройство - микровинт + гайка + стембель + скоба, а это значит, что с его помощью можно измерять методом непосредственной оценки, т. е. для него не нужны ни КМД, ни образцы.

Размер детали определяется сопоставлением с шагом резьбы микропары и отсчитывается по шкалам стембля и барабана. Доли деления барабана отсчитываются по стрелочной головке.

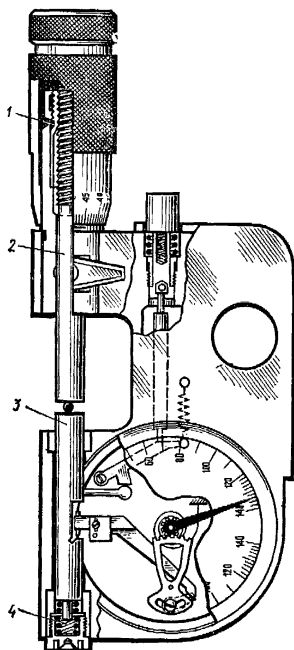


Рис. 2.12. Микрометр рычажный

Рычажные микрометры изготовляют двух типов: со встроенным и со съемным стрелочным отсчетным устройством, переставляемым на разные позиции в пределах диапазона измерения. Рычажные микрометры первого типа изготовляют в пределах размеров от 0 до 150 мм, с диапазонами измерения в 25 мм, а второго типа – в пределах размеров свыше 150 мм до 2000 мм с разными диапазонами измерения. Цены деления: микропары – 0,01 мкм, измерительной головки – 2, 5, 10 мкм.

Индикаторный нутромер (рис. 2.13). Основанием индикаторного нутромера служит трубка 4, снабженная теплоизоляционной ручкой 6. В верхней части трубка имеет присоединительное отверстие с зажимом 8. В отверстие вводится и

закрепляется гильза корпуса отсчетной стрелочной измерительной головки 7.

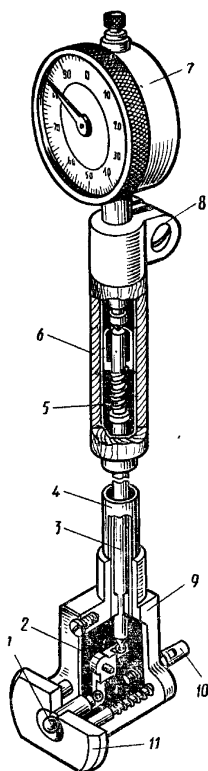


Рис. 2.13. Индикаторный нутромер

В большинстве случаев ею является индикатор часового типа (откуда и название индикаторный нутромер) или рычажно-зубчатая головка ИГ с ценой деления 0,001 или 0,002 мм. В нижней части основания-трубки расположена головка самого прибора, которая состоит из корпуса 9, центрирующего мостика 11 и воспринимающих измерительных стержней-наконечников — жесткого 10 и подвижного 1. Движение подвижного наконечника 1 через рычаг 2, шток 3 и червяк 5 передается измерительному наконечнику и стержню измерительной головки. Центрирующий мостик 11 устанавливает ось

измерения нутромера, которой является общая ось измерительных стержней-наконечников 1 и 10, на совпадение с диаметром отверстия измеряемой детали.

Исполнителю остается только покачать нутромер в осевой плоскости в продольном сечении и найти минимальное положение по стрелке измерительной головки, т. е. перпендикуляры к обоим образующим измеряемого отверстия. В совпадении максимума и минимума отсчетов и есть действительный размер отверстия в измеряемом сечении.

Для измерения отверстий малых диаметров изготавливаются нутромеры с шариковыми вставками.

В качестве мер для установки индикаторных нутромеров на размер и на "0" применяют комплекты, из концевых мер длины и боковок или установочные кольца. В комплект для установки нутромера включают: блок из концевых мер, подобранный по номинальному размеру измеряемого отверстия; два боковика (плоскопараллельные или радиусные) и державку.

Установочные кольца представляют собой стальные закаленные кольца, имеющие высокоточные отверстия по размеру диаметра и форме поверхности. Действительный размер каждого кольца записан в его аттестат или нанесен на его торце.

Основные параметры индикаторных нутромеров: нутромеры с центрирующим мостиком позволяют контролировать размеры в пределах от 6 до 1000 мм при определенных диапазонах измерений. Нутромеры с шариковыми вставками имеют диапазоны измерений 3 – 6, 6 – 10, 10 – 18 мм.

Цена деления зависит от установленной на нутромер измерительной стрелочной головки. Обычно на нутромерах с мостиком – 1, 2 или 10 мкм; на нутромерах с шариковой вставкой 1 или 2 мкм.

Наибольшее распространение в машиностроении получил контроль индикаторными нутромерами диаметров отверстий и отклонений формы их поверхностей. Эти измерения

значительно производительнее, чем измерения микрометрическими нутромерами, и обладают более высокой точностью.

Концевые меры длины. Плоскопараллельными концевыми мерами длины называют меры длины с постоянными значениями размера, который находится между двумя параллельными плоскостями у детали, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 2.14). Концевая мера, которую очень часто называют по-старому "плитка", представляет собой металлический брусок, у которого есть две параллельные плоскости и постоянный определенный размер между ними. Название "плоскопараллельная концевая мера длины" дано в связи с тем, что значение размера у этой меры заключено между плоскими и параллельными поверхностями детали.

Изготавливаются меры из высоколегированных сталей повышенной твердости ($HRC_3 \geq 62$), твердых сплавов.

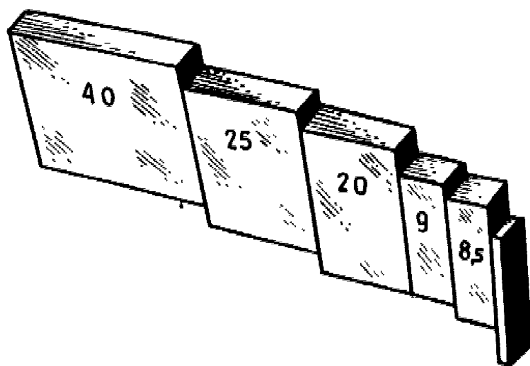


Рис. 2.14. Блок плоскопараллельных концевых мер длины

Концевые меры длины применяются в качестве образцовых средств для проверки рабочих средств измерений, градуировки измерительных и контролирующих средств, для настройки измерительных средств при проведении точных измерений.

Точность концевых мер длины определяется главным образом допуском размера или точностью его аттестации. При выполнении различных работ могут использоваться концевые

меры длины различной точности. Для концевых мер длины установлено семь классов точности, обозначаемых в порядке ее возрастания: 5, 4, 3, 2, 1, 0 и 00.

Концевые меры длины изготавливаются пяти классов точности (от 00 до 3). Меры других двух классов (4 и 5) не изготавливаются, их допуски используются только при ремонте концевых мер длины с целью их дальнейшего применения для измерений, не требующих высокой точности. Предел допускаемой погрешности измерения (аттестации) концевой меры длины характеризуется разрядом. Установлено пять разрядов с 1 по 5 (для первого разряда — наименьшая погрешность аттестации). При аттестации концевых мер длины на определенный разряд измеряют "срединную длину" и ее принимают за действительную длину концевой меры. "Срединной длиной" концевой меры называют длину перпендикуляра, опущенного из центра одной из измерительных поверхностей на противоположную измерительную поверхность.

В процессе эксплуатации используются как отдельные меры длины, так и блоки концевых мер. Концевые меры комплектуют в наборы, которые позволяют составлять блоки требуемых размеров из небольшого числа мер. Установлено пять градаций плоскопараллельных концевых мер длины, что позволяет составлять блоки разных размеров со ступенями в 1 мкм.

Выпускаются наборы концевых мер длины. Количество концевых мер в наборе определяется видом работ, для которых они предназначены. Наиболее широко применяют наборы: № 1 (83 меры), № 2 (38) и № 3 (112 мер).

Для получения определенного размера несколько плиток притираются друг другу. Для притирки концевых мер в блок одну меру накладывают на другую со смещением и под некоторым усилием сдвигают вдоль рабочей плоскости. Число концевых мер в блоке обычно невелико (рекомендуется не более четырех).

Работая с блоком, необходимо знать, какова его точность, т. е. необходимо оценить его погрешность, которая

складывается из погрешностей отдельных концевых мер, вошедших в блок. Погрешность номинального размера блока оценивается так называемой предельной погрешностью этого номинального размера, за которую принимается квадратическая сумма допускаемых (при изготовлении) погрешностей длин (размеров) отдельных концевых мер, вошедших в этот блок:

$$\Delta L_{lim, ном} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_{изг, i}^2},$$

где $\Delta L_{lim, ном}$ – предельная погрешность номинального размера блока;

$\Delta_{изг, i}$ – допускаемая (при изготовлении) погрешность длины i – ой концевой меры длины;

n – число концевых мер, вошедших в блок.

Тогда номинальный размер блока с его предельной погрешностью запишется в виде $L_{ном} \pm \Delta L_{lim, ном}$.

Задание

Лабораторная работа включает в себя семь этапов, выполняемые под руководством преподавателя и лаборанта:

- 1) Ознакомиться с устройством и методикой измерений механическими приборами;
- 2) Определить числовые значения основных метрологических характеристик приборов;
- 3) Спланировать измерения с целью выбора их оптимального количества;
- 4) С помощью набора концевых мер длины настроить приборы на измерение заданных размеров деталей;
- 5) Определить погрешность номинального размера блока концевых мер длины для одного из вариантов составленных блоков;
- 6) С помощью индикаторной скобы, рычажной скобы, рычажного микрометра, индикаторного нутромера провести измерения с целью установления отклонений формы в продольном и поперечном сечениях у деталей типа валов и втулок;

7) С помощью индикатора часового типа провести измерения с целью установления отклонений расположения поверхностей ступенчатой детали.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в соответствии с пунктами задания.

Содержание отчета

В отчете указывается цель работы и задание, список используемого для выполнения работы оборудования, приборов и их назначение. Метрологические характеристики механических приборов представляются в виде таблицы.

Оформляется эскиз детали и схема измерения. Приводятся результаты всех измерений, расчеты по определению оптимального числа измерений, расчет погрешности номинального размера блока концевых мер длины, оценка абсолютной и относительной погрешности измерения, результаты выявления отклонений формы и расположения на исследованных деталях. Дать заключение о годности деталей.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Перечислить виды механических приборов;
- 2) Как определить действительный размер детали при относительном методе измерения;
- 3) Как устроены рычажная и индикаторная скобы;
- 4) Как проводят измерения рычажным микрометром;
- 5) Как устроен индикаторный нутромер;
- 6) Как устроен индикатор часового типа;
- 7) По каким показателям дается заключение о годности детали;
- 8) Какие метрологические характеристики рассматриваются у механических приборов;
- 9) С какой целью применяются концевые меры длины;
- 10) Как рассчитать погрешность номинального размера блока концевых мер длины.

3. НОРМИРОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ. ВОЛНИСТОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ

3.1. Теоретическая часть

3.1.1. Общие положения

При анализе точности геометрических параметров деталей различают поверхности: номинальные (идеальные, не имеющие отклонений формы и размеров), форма которых задана чертежом, и реальные (действительные), которые ограничивают деталь, отделяя ее от окружающей среды. Реальные поверхности деталей получают в результате обработки или видоизменения при эксплуатации машин. Аналогично следует различать номинальный и реальный профиль, номинальное и реальное расположение поверхности (профиля). Номинальное расположение поверхности определяется номинальными линейными и угловыми размерами между ними и базами или между рассматриваемыми поверхностями, если базы не даны. Реальное расположение поверхности (профиля) определяется действительными линейными и угловыми размерами. База — поверхность, линия, точка детали (или выполняющее ту же функцию их сочетание), определяющие одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения. Профиль поверхности — линия пересечения (или

контур) поверхности с плоскостью или заданной поверхностью. Реальные поверхности и профили отличаются от номинальных.

Вследствие отклонений действительной формы от номинальной один размер в различных сечениях детали может быть различным (рис. 3.1). Размеры в поперечном сечении можно определить переменным радиусом R , отсчитываемым от геометрического центра O номинального сечения (рис. 3.1). Этот радиус называют текущим размером, т. е. размером, зависящим от положения осевой координаты x (сечения Б—Б) и угловой координаты φ точки, лежащей на измеряемой поверхности (φ_1 — угловая координата радиуса R_1). Отклонение ΔR текущего размера R (при выбранном значении x) от номинального (постоянного) размера R_0 , можно выразить зависимостью

$$\Delta R = R - R_0 = f(\varphi), \quad (3.1)$$

где $f(\varphi)$ — функция, характеризующая погрешность профиля (φ — полярный угол).

Контур поперечного сечения удовлетворяет условию замкнутости, следовательно,

$$f(\varphi + 2\pi) = f(\varphi), \quad (3.2)$$

т. е. функция имеет период 2π .

Для анализа отклонений профиля контур сечения действительной поверхности можно характеризовать совокупностью гармонических составляющих отклонений профиля, определяемых спектрами фазовых углов и амплитуд, т. е. совокупностью отклонений с различными частотами. Для аналитического изображения действительного профиля (контура сечения) поверхности используют разложение функции погрешностей $f(\varphi)$ в ряд Фурье.

Отклонения геометрических параметров можно классифицировать более укрупненно: отклонения собственно размера (ΔD на рис. 3.1) относят к отклонениям нулевого порядка, отклонения расположения поверхностей (e) — к отклонениям 1-

го порядка; отклонения формы поверхности ($\Delta\Phi$) — к отклонениям 2-го порядка; волнистость — к отклонениям 3-го порядка; шероховатость поверхности — к отклонениям 4-го порядка. Дальнейшее изложение материала основано на понятии фиксированных (постоянных) размеров.

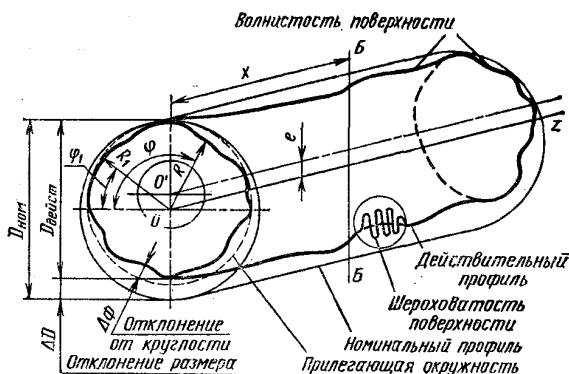


Рис. 3.1. Отклонения геометрических параметров различных порядков

Для получения оптимального качества изделий в общем случае необходимо нормировать и контролировать точность линейных и угловых размеров, формы и расположения поверхностей деталей и составных частей, а также волнистость и шероховатость поверхностей деталей.

3.1.2. Система нормирования отклонений формы и расположения поверхностей деталей

Отклонения и допуски формы. Термины и определения, относящиеся к основным видам отклонений и допусков формы и расположения, установлены техническим регламентом. Под отклонением формы поверхности (или профиля) понимают отклонение формы реальной поверхности (реального профиля) от формы номинальной поверхности (номинального профиля).

Шероховатость поверхности в отличие от волнистости не считают отклонением формы. В обоснованных случаях допускается нормировать отклонение формы, включая шероховатость поверхности, а волнистость нормировать отдельно (или нормировать часть отклонения формы без учета волнистости).

В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих прямых, поверхностей и профилей. Прилегающая прямая — прямая, соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение (рис. 3.2, а). Прилегающая окружность — это окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения (рис. 3.2, б), или максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения (рис. 3.2, в). Прилегающая плоскость — это плоскость, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение. Прилегающий цилиндр — это цилиндр минимального диаметра, описанный вокруг реальной наружной поверхности, или максимального диаметра, вписанный в реальную внутреннюю поверхность.

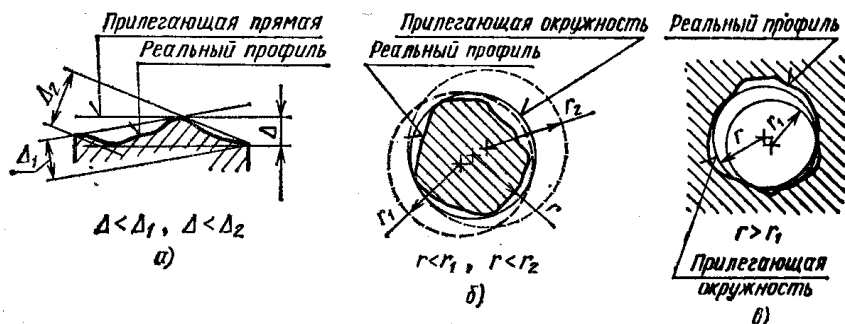


Рис. 3.2. Прилегающие прямая (а) и окружности (б, в)

Прилегающие поверхности и профили соответствуют условиям сопряжения деталей при посадках с нулевым зазором. При измерении прилегающими поверхностями служат рабочие поверхности контрольных плит, интерференционных стекол, лекальных и поверочных линеек, калибров, контрольных оправок и т. п. Количественно отклонение формы оценивают наибольшим расстоянием Δ от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к последней.

Приняты следующие буквенные обозначения: Δ — отклонение формы или отклонение расположения поверхностей; T — допуск формы или допуск расположения; L — длина нормируемого участка. Термины некруглость, неплоскостность и т.п. не рекомендованы.

Отклонения формы цилиндрических поверхностей. Отклонение от круглости — наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 3.3, а). Допуск круглости T — наибольшее допускаемое значение отклонения от круглости. Поле допуска круглости — область на плоскости, перпендикулярной оси поверхности вращения или проходящей через центр сферы, ограниченная двумя концентрическими окружностями, отстоящими одна от другой на расстоянии, равном допуску круглости T .

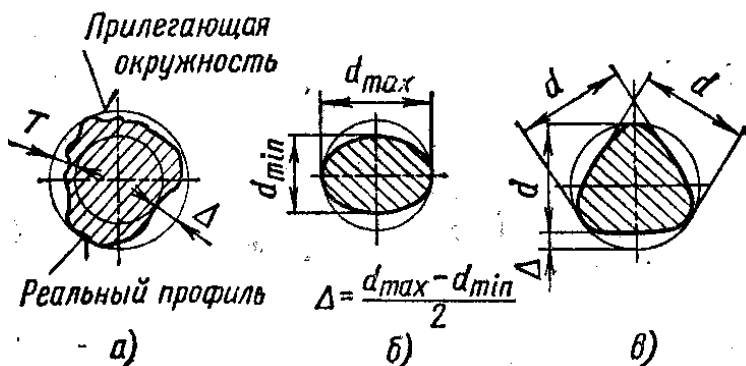


Рис. 3.3. Отклонения формы цилиндрических поверхностей в поперечном сечении

Частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка. Овальность — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 3.3, б). Огранка — отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру. Огранка может быть с четным и нечетным числом граней. Огранка с нечетным числом граней характеризуется равенством размера d . (рис. 3.3, в). Овальность детали возникает, например, вследствие биения шпинделя токарного или шлифовального станка, дисбаланса детали и других причин. Появление огранки вызвано изменением положения мгновенного центра вращения детали, например, при бесцентровом шлифовании.

Отклонение от цилиндричности — наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка L (рис. 3.4, а). На рис. 3.4, б показано поле допуска цилиндричности, определяемое пространством, ограниченным соосными цилиндрами 1 и 2, отстоящими один от другого на расстоянии, равном допуску цилиндричности T .

Отклонение профиля продольного сечения — наибольшее расстояние Δ от точек образующих реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка L (рис. 3.4, в). Поле допуска T такого отклонения показано на рис. 3.4, в. Отклонение профиля продольного сечения характеризует отклонения от прямолинейности и параллельности образующих. Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются конусообразность, бочкообразность и седлообразность. Конусообразность — отклонение профиля продольного сечения, при котором образу-

ющие прямолинейны, но не параллельны (рис. 3.4, з).

Бочкообразность — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 3.4, д).

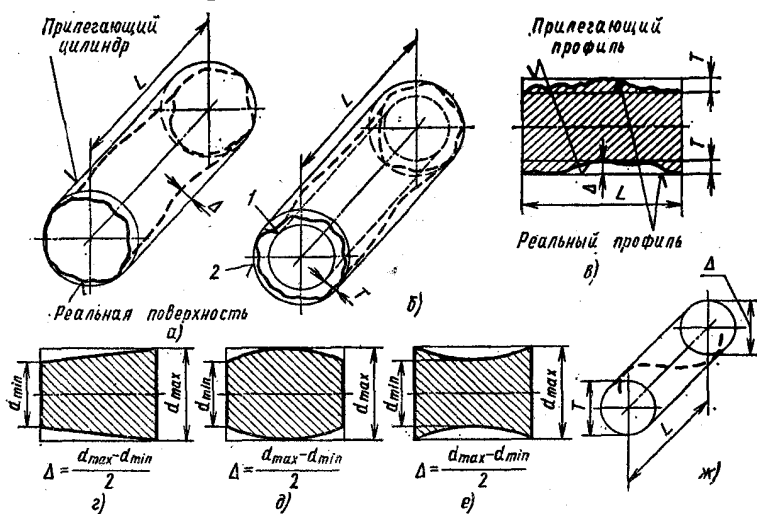


Рис. 3.4. Отклонения от цилиндричности и профиля продольного сечения

Седлообразность — отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения (рис. 3.4, е). Бочкообразность чаще всего возникает при обтачивании тонких длинных валов в центрах без люнетов (в средней части под влиянием сил резания возникают большие упругие прогибы, чем по краям). Толстые короткие валы чаще получаются седлообразными из-за большого смещения вала по краям (составляющие силы резания распределяются между обоими центрами более равномерно). Бочкообразность и седлообразность могут возникнуть также вследствие погрешности направляющих станин станков и других причин. Для получения требуемой формы деталей целесообразно отделочные операции выполнять после окончательной термической обработки. Причи-

ной конусообразности являются износ резца, несовпадение геометрических осей шпинделя и пиноли задней бабки станка (смещение центров), отклонение от параллельности оси центров направляющим станины.

Отклонение Δ от прямолинейности оси (или линии) в пространстве и поле допуска прямолинейности оси T показаны на рис. 3.4, ж.

Отклонения формы плоских поверхностей. Отклонение от плоскостности определяют как наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (рис. 3.5, а). Поле допуска плоскостности — область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими одна от другой на расстоянии, равном допуску плоскостности T (рис. 3.5, б). Частными видами отклонений от плоскостности являются выпуклость (рис. 3.5, в) и вогнутость (рис. 3.5, г). Отклонение от прямолинейности в плоскости (рис. 3.5, д) определяют как наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей прямой. Поле допуска прямолинейности в плоскости показано на рис. 3.5, д.

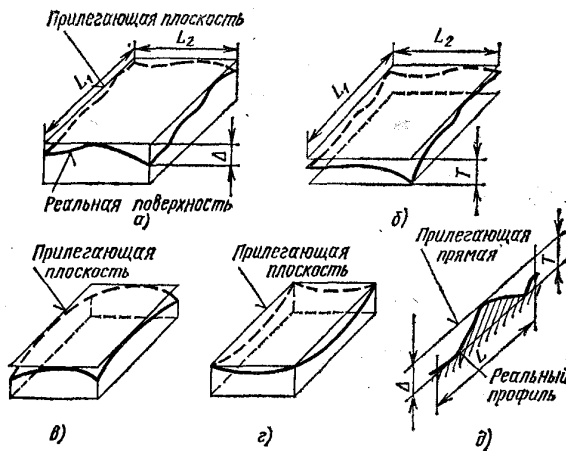


Рис. 3.5. Отклонение формы плоских поверхностей

Отклонение формы заданного профиля (поверхности), в

случаях, когда профиль (поверхность) задан номинальными размерами [координатами отдельных точек профиля (поверхности) без предельных отклонений этих размеров], отклонение формы заданного профиля (поверхности) есть наибольшее отклонение Δ (рис. 3.6, а) точек реального профиля (поверхности) от номинального, определяемое по нормали к номинальному профилю (поверхности). Допуск формы T можно определить в диаметральном выражении как удвоенное большее допускаемое значение отклонения формы заданного профиля (поверхности) или в радиусной выражении как наибольшее допускаемое значение отклонения формы заданного профиля (поверхности).

Поле допуска формы заданного профиля — область на заданной плоскости сечения поверхности ограниченная двумя линиями, эквидистантными номинальному профилю и отстоящими одна от другой на расстоянии, равном допуску формы заданного профиля в диаметральном выражении T или удвоенному допуску формы в радиусном выражении $T/2$. Линии, ограничивающие поле допуска, являются огибающими семейства окружностей, диаметр которых равен допуску формы заданного профиля в диаметральном выражении T , а центры находятся на номинальном профиле (рис. 3.6, б).

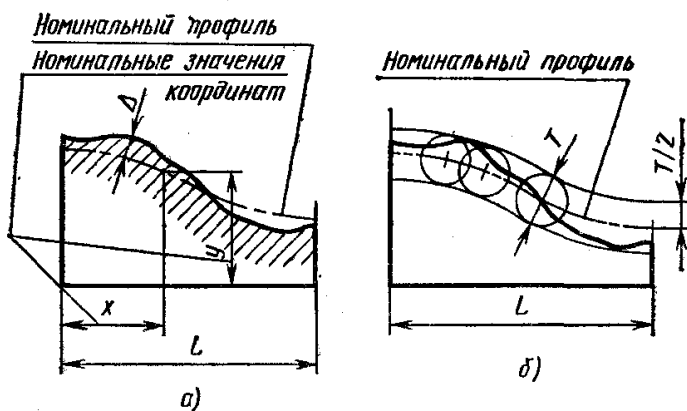


Рис. 3.6. Отклонение формы заданного профиля

Отклонения расположения поверхностей. Отклонением расположения поверхности, или профиля называют отклонение реального расположения поверхности (профиля) от его номинального расположения. Количественно отклонения расположения оценивают в соответствии с определениями, приведенными ниже. При оценке отклонений расположения отклонения формы рассматриваемых поверхностей (профилей) и базовых элементов (обобщенный термин, под которым понимают поверхность, линию или точку) должны быть исключены из рассмотрения. При этом реальные поверхности (профили) заменяют прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей (профилей) принимают оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей. Радиальное биение поверхности вращения относительно базовой оси является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра относительно базовой оси. Оно равно разности наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении, перпендикулярном этой оси (Δ_1). Если определяется разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормированного участка L до базовой оси, то находят полное радиальное биение

$\Delta = R_{max} - R_{min}$; оно является результатом совместного проявления отклонения от цилиндричности поверхности и отклонения от ее соосности относительно базовой оси.

Торцовое биение (полное) — разность Δ наибольшего и наименьшего расстояния от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси; оно является результатом совместного проявления отклонения от плоскостности рассматриваемой поверхности и отклонения от ее перпендикулярности относительно базовой оси. Торцовое биение иногда определяют в сечении торцовой поверхности цилин-

дром заданного диаметра d . (Δ).

Зависимый и независимый допуски расположения (формы). Допуски расположения или формы, устанавливаемые для валов или отверстий, могут быть зависимыми и независимыми. Зависимым называют переменный допуск расположения или формы, минимальное значение которого указывается в чертеже или технических требованиях и которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера поверхности детали от проходного предела (наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия). Зависимые допуски расположения назначают главным образом в случаях, когда необходимо обеспечить собираемость деталей, сопрягающихся одновременно по нескольким поверхностям с заданными зазорами или натягами.

Пример. Для отверстий диаметром $15^{+0,043}$ и $25^{+0,052}$ мм детали, показанной на рис. 3.7, *а*, назначен зависимый допуск соосности 0,05 мм. Значение допускаемого отклонения от соосности является наименьшим и относится к деталям, у которых диаметры отверстий имеют наименьшие предельные размеры. С увеличением диаметров отверстий в соединении образуются зазоры. Отклонение от соосности Δ определяется разностью радиальных расстояний от осей отверстий, а зазоры — разностью предельного и номинального диаметров, поэтому отклонение от соосности Δ связано с суммарным зазором в обеих ступенях $S_1 + S_2$ зависимостью:

$$\Delta = (S_1 + S_2)/2. \quad (3.3)$$

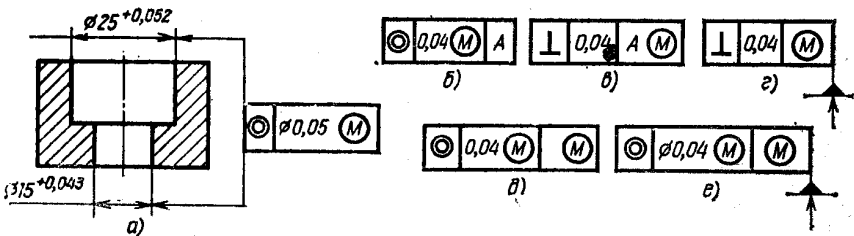


Рис. 3.7. Зависимый допуск соосности отверстий (a) и обозначение зависимых допусков (b — e)

При наибольших предельных диаметрах отверстий (15,043 и 25,052 мм) возможно дополнительное отклонение от соосности, равное $0,5 (0,043 + 0,052) \approx 0,047$ мм. Допуск соосности в этом случае $T_{\max} = 0,05 + 0,047 = 0,097$ мм.

Зависимые допуски обычно контролируют комплексными калибрами, являющимися прототипами сопрягаемых деталей. Эти калибры всегда проходные, что гарантирует беспригоночную сборку изделий.

Независимым называют допуск расположения (формы), числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей, изготавливаемых по данному чертежу, и не зависит от действительных размеров рассматриваемых поверхностей. Например, когда необходимо выдержать соосность посадочных гнезд под подшипники качения, ограничить колебание межосевых расстояний в корпусах редукторов и т. п., следует контролировать собственно расположение осей поверхностей.

Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей для каждого вида допуска формы и расположения поверхностей установлено 16 степеней точности. Числовые значения допусков от одной степени к другой изменяются с коэффициентом возрастания 1,6. В зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы или расположения устанавливаются следующие уровни относительной геометрической точности: А — нормальная относительная геометрическая точность (допуски формы или расположения составляют примерно 60 % допуска размера); В — повышенная относительная геометрическая точность (допуски формы или расположения составляют примерно 40 % допуска размера); С — высокая относительная геометрическая точность (допуски формы или расположения составляют примерно 25 % допуска размера).

Допуски формы цилиндрических поверхностей, соответ-

ствующие уровням А, В и С, составляют примерно 30, 20 и 12 % допуска размера, так как допуск формы ограничивает отклонение радиуса, а допуск размера — отклонение диаметра поверхности.

Допуски формы и расположения можно ограничивать полем допуска размера. Эти допуски указывают только, когда по функциональным или технологическим причинам они должны быть меньше допусков размера или неуказанных допусков.

3.1.3. Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей

Вид допуска формы и расположения согласно техническим регламентам следует обозначать на чертеже знаками (графическими символами), приведенными в табл. 3.1. Знак и числовое значение допуска вписывают в рамку, указывая на первом месте знак, на втором — числовое значение допуска в миллиметрах и на третьем — при необходимости буквенное обозначение базы (баз) или поверхности, G которой связан допуск расположения (рис. 3.8, а). Рамку соединяют с элементом, к которому относится допуск, сплошной линией, заканчивающейся стрелкой (рис. 3.8, б).

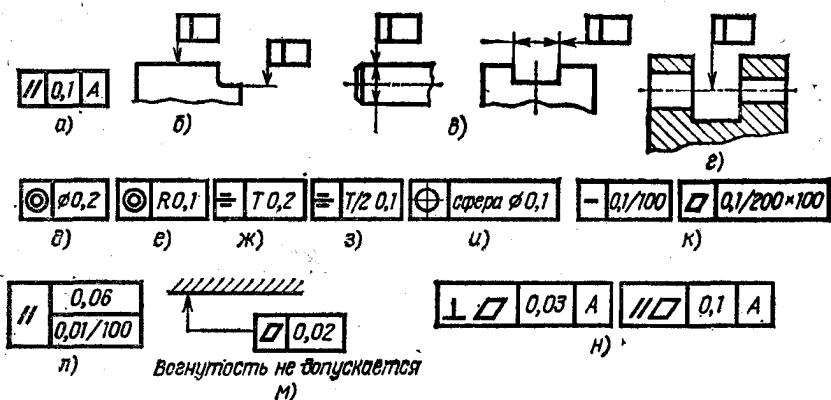


Рис. 3.8. Схемы указания допусков формы и расположения поверхностей

Таблица 3.1

Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей

| Группа допусков | Вид допуска | Знак |
|--|--|------|
| Допуски формы | Допуск прямолинейности | |
| | Допуск плоскостности | |
| | Допуск круглости | |
| | Допуск цилиндричности | |
| | Допуск профиля продольного сечения | |
| Допуски расположения | Допуск параллельности | |
| | Допуск перпендикулярности | |
| | Допуск наклона | |
| | Допуск соосности | |
| | Допуск симметричности | |
| | Позиционный допуск | |
| | Допуск пересечения осей | |
| Суммарные допуски формы и расположения | Допуск радиального биения Допуск торцового биения Допуск биения в заданном направлении | |
| | Допуск полного радиального биения Допуск полного торцового биения | |
| | Допуск формы заданного профиля Допуск формы заданной поверхности | |

Если допуск относится к оси или плоскости симметрии, соединительная линия должна быть продолжением размерной (рис. 3.8, в); если допуск относится к общей оси (плоскости симметрии), соединительную линию проводят к общей оси (рис. 3.8, г). Перед числовым значением допуска следует указывать; символ \varnothing , если поле допуска задано его диаметром (рис. 3.8, д); символ R, если поле допуска задано радиусом

(рис. 3.8, е); символ Т, если допуски симметричности, пересечения осей, формы заданной поверхности, а также позиционные заданы в диаметральном выражении (рис. 3.8, ж); символ Т/2 для тех же видов допусков, если они заданы в радиусном выражении (рис. 3.8, з); слово «сфера» и символы O или R, если поле допуска сферическое (рис. 3.8, и). Если допуск относится к участку поверхности заданной длины (площади), то его значение указывают рядом с допуском, отделяя от него наклонной линией (рис. 3.8, к). Если необходимо назначить допуск на всей длине поверхности и на заданной длине, то допуск на заданной, длине указывают под допуском на всей длине (рис. 3.8, л). Надписи, дополняющие данные, приведенные в рамке, наносят, как показано на рис. 3.8, м.

Суммарные допуски формы и расположения поверхностей, для которых не установлены отдельные графические знаки, обозначают знаками составных допусков: сначала знак допуска расположения, затем знак допуска формы (рис. 3.8, н).

Базу обозначают зачерненным треугольником, который соединяют соединительной линией с рамкой допуска (рис. 3.9, а). Чаще базу обозначают буквой и соединяют ее с треугольником (рис. 3.9, б). Если базой является ось или плоскость симметрии, треугольник располагают в конце размерной линии соответствующего размера поверхности. В случае недостатка места стрелку размерной линии допускается заменять треугольником (рис. 3.9, в).

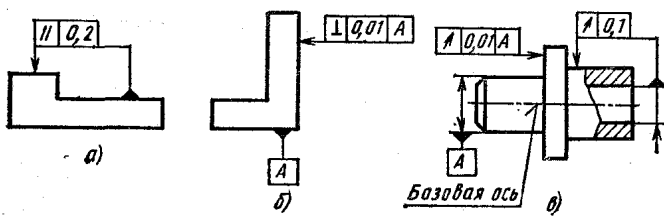


Рис. 3.9. Обозначение баз

Обозначение зависимых допусков. Если допуск распо-

ложения или формы не указан как зависимый, его считают независимым. Зависимые допуски расположения и формы обозначают условным знаком (буквой М в кружке), который помещают: после числового значения допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами поверхности (см. рис. 3.7, б); после буквенного обозначения базы (см. рис. 3.7, в) или без буквенного обозначения базы в третьей части рамки (см. рис. 3.7, г), если этот допуск связан с действительными размерами базовой поверхности; после числового значения допуска и буквенного обозначения базы (см. рис. 3.7, д) или без буквенного указания базы (см. рис. 3.7, е), если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элементов.

3.1.4. Система нормирования и обозначения шероховатости поверхности

Шероховатостью поверхности называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины. Базовая длина l — длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности. Базовая линия (поверхность) — линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров поверхности. Шероховатость является следствием пластической деформации поверхностного слоя детали, возникающей вследствие образования стружки, копирования неровностей режущих кромок инструмента и трения его о деталь, вырывания с поверхности частиц материала и других причин. Числовые значения шероховатости поверхности определяют от единой базы, за которую принята средняя линия профиля т. е. базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально. Систему отсчета шероховатости от средней ли-

нии профиля называют системой средней линии.

Если для определения шероховатости выбран участок поверхности длиной l , другие неровности (например, волнистость), имеющие шаг больше l , не учитывают. Для надежной оценки шероховатости с учетом рассеяния показаний прибора и возможной неоднородности строения неровностей измерения следует повторять несколько раз в разных местах поверхности и за результат изменения принимать средней арифметическое результатов измерения на нескольких длинах оценки. Длина оценки L — длина, на которой оценивают шероховатость. Она может содержать одну или несколько базовых длин l . Числовые значения базовой длины выбирают из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Согласно международным стандартам, шероховатость поверхности изделий независимо от материала и способа изготовления (получения поверхности) можно оценивать количественно одним или несколькими параметрами: средним арифметическим отклонением профиля Ra , высотой неровностей профиля по десяти точкам Rz , наибольшей высотой неровностей профиля $Rmax$, средним шагом неровностей Sm , средним шагом местных выступов профиля S , относительной опорной длиной профиля tr (p — значение уровня сечения профиля, рис. 3.10). Параметр Ra является предпочтительным.

Эти требования распространяются на все виды материалов, кроме древесины, войлока, фетра и других материалов с ворсистой поверхностью.

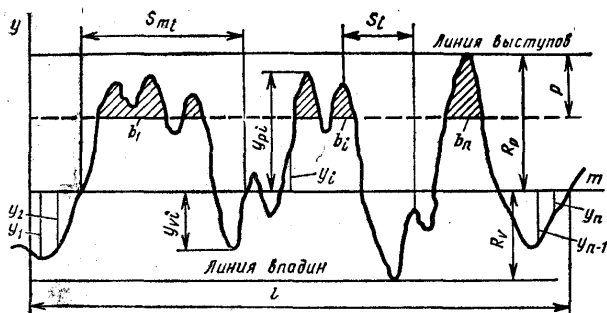


Рис. 3.10. Профилограмма и основные параметры

шероховатости поверхности

Параметр Ra характеризует среднюю высоту всех неровностей профиля, Rz — среднюю высоту наибольших неровностей, R_{\max} — наибольшую высоту профиля. Шаговые параметры Sm , S и tp введены для учета различной формы и взаимного расположения характерных точек неровностей. Эти параметры позволяют также нормировать спектральные характеристики профиля.

Параметры шероховатости, связанные с высотными свойствами неровностей. Среднее арифметическое отклонение профиля Ra — среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l |y(x)| dx; \quad (3.4)$$

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (3.5)$$

где l — базовая длина;

n — число выбранных точек профиля на базовой длине.

Отклонение профиля y — расстояние между любой точкой профиля и средней линией.

Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$Rz = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right], \quad (3.6)$$

где y_{pi} — высота i -го наибольшего выступа профиля;

y_{vi} — глубина i -й наибольшей впадины профиля.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} — расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины l (см. рис. 3.9).

Параметры шероховатости, связанные со свойствами неровностей в направлении длины профиля. Средний шаг неровностей профиля Sm — среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$Sm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (3.7)$$

где n — число шагов в пределах базовой длины l ;

S_{mi} — шаг неровностей профиля, равный длине отрезка средней линии, пересекающей профиль в трех соседних точках и ограниченной двумя крайними точками.

Средний шаг местных выступов профиля S — среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (3.8)$$

где n — число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины l ;

S_i — шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних выступов профиля.

Числовые значения параметров шероховатости Ra , Rz , R_{max} , Sm и S приведены в стандартах.

Рекомендуется использовать предпочтительные значения параметров Ra , так как образцы сравнения шероховатости поверхности изготавливают именно с этими значениями Ra .

Параметры шероховатости, связанные с формой неровностей профиля. Опорная длина профиля η_p — сумма длин отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне p в материале профиля линией, эквидистантной средней линии m в пределах базовой длины (рис. 3.9):

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i. \quad (3.9)$$

Относительная опорная длина профиля t_p — отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \eta_p / l. \quad (3.10)$$

Опорную длину профиля η_p определяют на уровне сечения профиля p , т. е. на заданном расстоянии между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля. Линия выступов профиля — линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины. Значение уровня сечения профиля p отсчитывают по линии выступов и выбирают из ряда: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 % от R_{max} . Относительная опорная длина профиля t_p может быть равна: 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 %.

Требования к шероховатости поверхности деталей следует устанавливать, исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий. Если в этом нет необходимости, требования к шероховатости поверхности не устанавливают и шероховатость этой поверхности не контролируют. Рассмотренный комплекс параметров способствует обоснованному назначению показателей шероховатости для поверхностей различного эксплуатационного назначения. Например, для трущихся поверхностей ответственных деталей устанавливают допусковые значения Ra (или Rz), R_{max} и t_p , а также направление неровностей; для поверхностей циклически нагруженных ответственных деталей — R_{max} , Sm и S и т. д. При выборе параметров Ra или Rz следует иметь в виду, что параметр Ra дает более полную оценку шероховатости, так как для его определения измеряют и суммируют расстояния большого числа точек действительного профиля до его средней линии, тогда как при определении параметра Rz измеряют только расстояния между пятью вершинами и пятью впадинами неровностей. Влияние формы неровностей на эксплуатационные показатели качества детали параметром Ra оценить нельзя, так как при различных формах неровностей значения Ra могут быть одинаковыми. Например, профили неровностей, изобра-

женные на рис. 3.11, имеют разную форму, но одинаковые значения параметра Ra . Для лучшей оценки свойств шероховатости необходимо знать ее высотные, шаговые параметры и параметр формы tp .

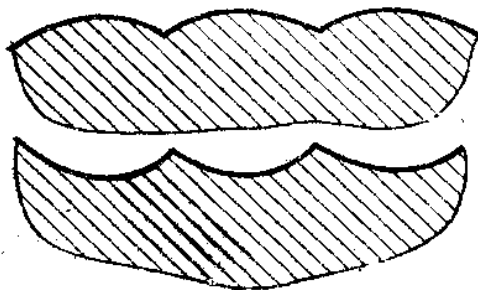


Рис. 3.11. Пример профилей неровностей поверхностей, имеющих разную форму, но одинаковое значение Ra

Износостойкость, контактная жесткость, прочность пресовых посадок и другие эксплуатационные свойства сопрягаемых поверхностей деталей связаны с фактической площадью их контакта. Для определения опорной площади, которая образуется под рабочей нагрузкой, строят кривые относительной опорной длины профиля tp . Для этого расстояние между линиями выступов и впадин делят на несколько уровней сечений профиля с соответствующими значениями p . Для каждого сечения по формулам (3.9) и (3.10) определяют значение tp и строят кривую изменения опорной длины профиля (рис. 3.12). При выборе значений tp следует учитывать, что с его увеличением требуются все более трудоемкие процессы обработки; например, при значении $tp \approx 25\%$, определенном по средней линии профиля, можно применять чистовое точение, а при $tp \approx 40\%$ необходимо хонингование. Опорная длина профиля tp определяет значение пластической деформации поверхностей деталей при их контактировании.

Требования к шероховатости поверхности устанавливают

без учета дефектов поверхности (царапин, раковин и т. д.) — при необходимости их указывают отдельно.

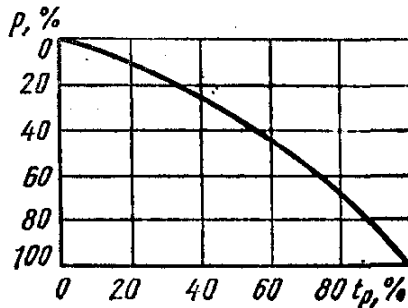


Рис. 3.12. Кривая относительной опорной длины профиля

В обоснованных случаях устанавливают требования к направлению неровностей (табл. 3.2) и виду (или последовательности видов) обработки, если он единственный для обеспечения качества поверхности.

Таблица 3.2

Направление неровностей и их обозначения

| Направление неровностей | Схематическое изображение | Обозначение направления риска | Направление неровностей | Схематическое изображение | Обозначение направления риска |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Параллельное | | | Произвольное | | |
| Перпендикулярное | | | Кругообразное | | |
| Перекрещивающееся | | | Радиальное | | |

Обозначение шероховатости поверхностей.

Согласно техническому регламенту шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей детали, независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых

не обусловлена требованиями конструкции. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 3.13, а. В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктор не устанавливает, применяют знак, показанный на рис. 3.13, б; этот знак является предпочтительным. В обозначении шероховатости поверхности, образуемой удалением слоя материала, например, точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием, травлением и т. п., применяют знак, указанный на рис. 3.13, в. В обозначении шероховатости поверхности, образуемой без снятия слоя материала, например литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т. п., применяют знак, показанный на рис. 3.13, г; поверхности, не обрабатываемые по данному чертежу, обозначают этим же знаком. Состояние поверхности, обозначенной этим знаком, должно удовлетворять требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями на сортамент материала.

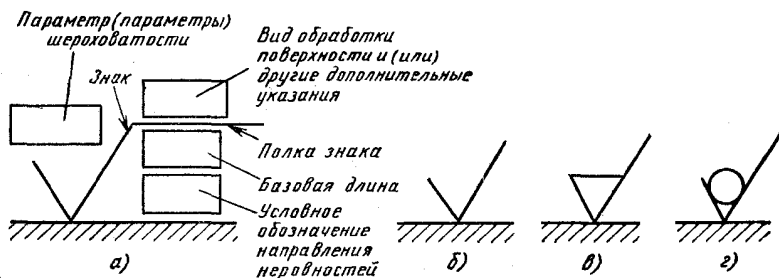


Рис. 3.13. Структура обозначения шероховатости поверхности

Значение параметра шероховатости R_a указывают в ее обозначении без символа, например 0,5; для остальных параметров — после соответствующего символа, например R_{\max} 6,3; S_m 0,63; S 0,32; R_z 32; t_{50} 70. Здесь указаны наибольшие допустимые значения параметров шероховатости; их наименьшие значения не ограничиваются. В примере обозначения t_{50} 70 указана относительная опорная длина профиля $t_r =$

70 % при уровне сечения профиля $p = 50$ %. При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности (наибольшего и наименьшего) в обозначении приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки например:

1,00 Rz 0,008; R_{\max} 0,08; t_{50} 50 и т.п.
 0,63 0,032 0,32 70

В верхней строке приводят значение параметра, соответствующее большей шероховатости.

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями, например 1 ± 20 %; Rz 80₋₁₀%; Sm 0,63⁺²⁰%; t_{50} 70 \pm 40 % и т. п.

При указании двух и большего числа параметров шероховатости поверхности в обозначении их значения записывают сверху вниз в следующем порядке (рис. 3.14, а): параметр высоты неровностей профиля (R_a не более 0,1 мкм; значение базовой длины l равно 0,25 мм); параметр шага неровностей профиля (S_m от 0,063 до 0,040 мм на базовой длине 0,8 мм); относительная опорная длина профиля (t_{50} 80 \pm 10 % на базовой длине 0,25 мм). Можно указывать вид обработки, если он является единственным для данной поверхности (рис. 3.14, б). Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разъяснением его в технических чертежах (рис. 3.14, в).

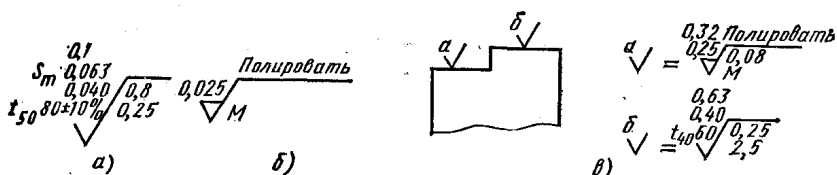


Рис. 3.14. Примеры обозначения шероховатости поверхности

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении детали располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках ли-

ний — выносок. При недостатке места допускается располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, а также разрывать выносную линию (рис. 3.15, *а*). При изображении изделия с разрывом обозначение шероховатости наносят только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размеров (рис. 3.15, *б*).

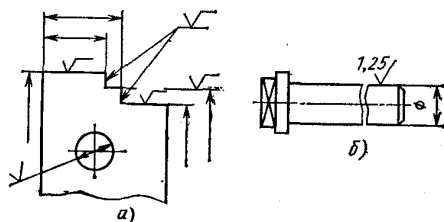


Рис. 3.15. Пример обозначения шероховатости на размерных или выносных линиях (*а*) и на деталях, изображенных с разрывом (*б*)

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис. 3.16, *а*).

При указании одинаковой шероховатости для части поверхностей детали в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение одинаковой шероховатости и знак, показанный на рис. 3.13, *б* (рис. 3.16, *б*). Это означает, что все поверхности, на изображении которых не нанесены обозначения шероховатости или знак, показанный на рис. 3.13, *з*, должны иметь шероховатость, указанную перед знаком в правом верхнем углу чертежа. Когда часть поверхностей изделия не обрабатывается по данному чертежу, в правом верхнем углу чертежа помещают знаки, показанные на рис. 3.16, *в*. Если шероховатость одной поверхности различна на отдельных участках, эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости (рис. 3.16, *г*).

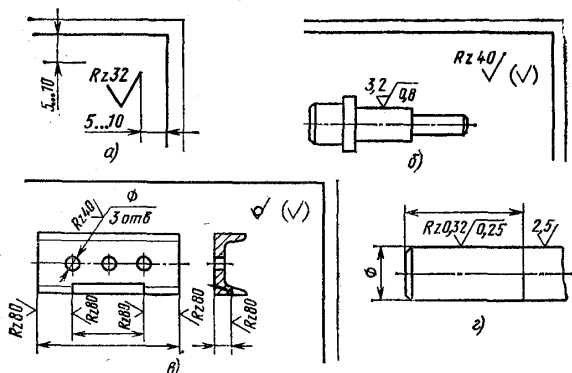


Рис. 3.16. Примеры специфических случаев обозначения шероховатости

3.1.5. Волнистость поверхностей деталей

Под волнистостью поверхности понимают совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояния между смежными возвышенностями или впадинами превышают базовую длину l . Волнистость занимает промежуточное положение между отклонениями формы и шероховатостью поверхности. Условно границу между различными порядками отклонений поверхности можно установить по значению отношения шага S_w к высоте неровностей W_z . При $(S_w/W_z) < 40$ отклонения относят к шероховатости поверхности, при $1000 \geq (S_w/W_z) \geq 40$ - к волнистости, при $(S_w/W_z) > 1000$ — к отклонениям формы.

Высота волнистости W_z – среднее арифметическое из пяти ее значений (W_1, W_2, \dots, W_5), определенных на длине участка измерения L_w , равной не менее пяти действительным наибольшим шагам S_w волнистости (рис. 3.17, а):

$$W_z = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)/5. \quad (3.11)$$

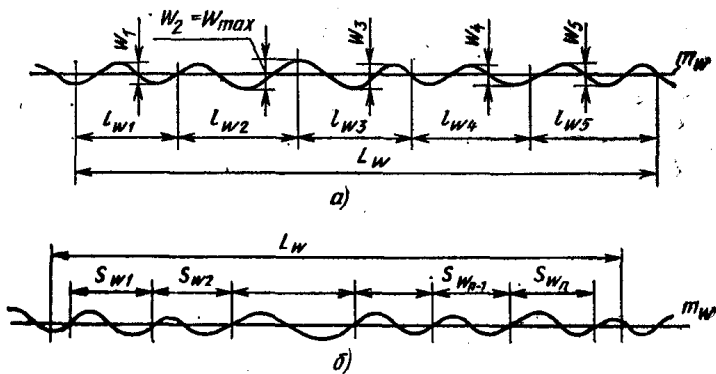


Рис. 3.17. Определение высоты (а) и шага (б) волнистости поверхности

Допускается непоследовательное расположение участков измерения. Предельные числовые значения W_z следует выбирать из ряда:

0,1; 6,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200 мкм.

Отдельное измерение волнистости выполняют на длине l_{wi} , равной пятой части длины L_w . Наибольшая высота волнистости W_{max} — расстояние между наивысшей и наименьшей точками измеренного профиля в пределах длины L_w , измеренное на одной полной волне.

Средний шаг волнистости S_w — среднее арифметическое значение длин отроков средней линии S_{wi} , ограниченных точками их пересечения с соседними участками профиля волнистости (рис. 3.17, б):

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{wi} . \quad (3.12)$$

Положение средней линии m_w определяется так же, как и положение средней линии профиля m шероховатости.

Форма волны зависит от причин, которые вызывают волнистость поверхности. Чаще волнистость имеет синусоидаль-

ный характер, что является следствием колебаний в системе станок — приспособление—инструмент—деталь, возникающих из-за неравномерности сил резания, наличия неуравновешенных масс, погрешностей привода и т. п.

3.1.6. Влияние шероховатости, волнистости, отклонений формы и расположения поверхностей деталей на взаимозаменяемость и качество машин

Шероховатость, волнистость, отклонения формы и расположение поверхностей деталей, возникающие при изготовлении, а также в процессе работы машины под влиянием силовых и температурных деформаций и вибрации, уменьшают контактную жесткость стыковых поверхностей деталей и изменяют установленный при сборке начальный характер посадок.

В подвижных посадках, когда трущиеся поверхности деталей разделены слоем смазочного материала и непосредственно не контактируют, указанные погрешности приводят к неравномерности зазора в продольных и поперечных сечениях, что нарушает ламинарное течение смазочного материала, повышает температуру и снижает несущую способность масляного слоя. При пуске, торможении, уменьшении скоростей, перегрузках машин условия для трения со смазочным материалом не могут быть созданы, так как масляный слой не полностью разделяет трущиеся поверхности. В этом случае из-за отклонений формы, расположения и шероховатости поверхности контакт сопрягаемых поверхностей деталей машин происходит по наибольшим вершинам неровностей поверхностей.

При таком характере контакта давление на вершинах неровностей часто превышает допустимые напряжения, вызывая вначале упругую, а затем пластическую деформацию неровностей. Возможно отделение вершин некоторых неровностей из-за повторной деформации, вызывающей усталость материала или выравнивание частиц материала с одной из трущихся поверхностей при «схватывании» (сцеплении) неровно-

стей при их совместной пластической деформации под действием больших контактных напряжений. Происходит также сглаживание отдельных соприкасающихся участков трущихся пар. Вследствие этого в начальный период работы подвижных соединений (участки OA_1 и OA_2 на кривых, рис. 3.18, а) происходит интенсивное изнашивание деталей (процесс приработки), что увеличивает зазор между сопряженными поверхностями.

В процессе приработки размеры и даже форма неровностей поверхности изменяются, при этом возникает определенная, в сторону движения детали, направленность неровностей.

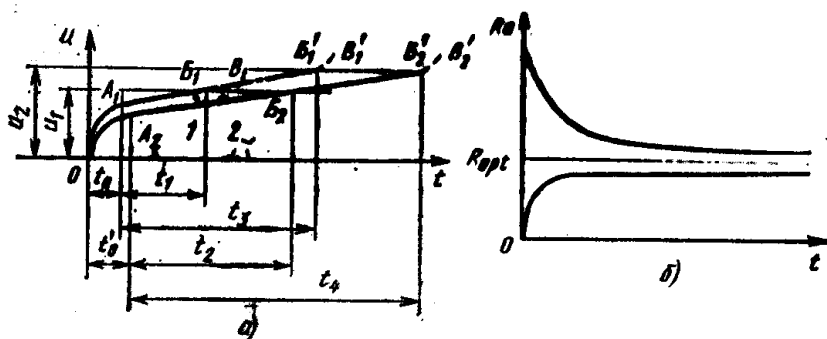


Рис. 3.18. Кривые, характеризующие износ вращающихся деталей:

а - при разной износостойкости

(1 - пониженной; 2 - повышенной);

б - при разной начальной шероховатости

Получающуюся после приработки (при трении скольжения или качения с проскальзыванием) шероховатость, обеспечивающую минимальный износ и сохраняющуюся в процессе длительной эксплуатации машин (участки A_1B_1 и A_2B_2), называют оптимальной. Оптимальная шероховатость характеризуется высотой, шагом и формой неровностей (радиусом вер-

шин, углом наклона неровностей в направлении движения и др.). Параметры оптимальной шероховатости зависят от качества смазочного материала и других условий работы трущихся деталей, их конструкции и материала; Изменение начальной шероховатости можно проследить на примере испытаний компрессора. Перед испытаниями шероховатость наружной поверхности поршня соответствовала $Ra = 0,7 \dots 1$ мкм, а зеркала цилиндра $Ra = 0,2 \dots 0,3$ мкм. При работе компрессора применяли масло высокого качества, без твердых включений и загрязнений. После окончания испытаний (через 1000 ч) шероховатость поршня не изменилась, а шероховатость зеркала цилиндра соответствовала $Ra = 0,7 \dots 1,2$ мкм.

Процесс приработки зависит от размеров начальных неровностей трущихся поверхностей, свойств материала деталей, режима и условий работы механизма. Чем больше начальная шероховатость отличается от оптимальной, тем больше износ деталей (рис. 3.18, б), поэтому параметры шероховатости необходимо знать заранее и получать их при механической обработке или приработке деталей на стендах.

3.2. Лабораторные работы

3.2.1. Лабораторная работа № 4 АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: практическое ознакомление с основными средствами и методиками определения шероховатости поверхности.

Оборудование, приборы, инструменты: образцы (эталонны) шероховатости поверхности, двойной микроскоп МИС-11, микроинтерферометр МИИ-4, блочный профилограф-профилометр, набор контролируемых деталей.

Общие положения согласно п. 3.1.4.

Средства контроля шероховатости поверхности

Оценка шероховатости поверхности производится с использованием бесконтактных и контактных средств измерений.

Наиболее распространенным способом оценки качества обработанных поверхностей является сравнение этих поверхностей с поверхностями рабочих образцов.

Рабочие образцы шероховатости поверхности стандартизованы и выпускаются с шероховатостью разной величины, полученной точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой.

Образцы по видам обработки комплектуются в оправках, а по применяемому материалу наборы помещаются в футляры.

Для определения величины шероховатости в микрометрах применяют различные микроскопы (интерференционный, двойной) и контактные щуповые приборы, для более точной оценки шероховатости – микроскопы сравнения.

Микроскопы сравнения устроены таким образом, что в окуляре визуального тубуса изображения поверхностей проверяемой детали и образца оказываются рядом, при соответствующем увеличении изображения определяется шероховатость поверхности обработанной детали.

В приборах, работающих по принципу интерференции света (МИИ-4, МИИ-5, МИИ-11), пучок световых лучей от источника разделяется и направляется различными путями к контролируемой поверхности. Отражаясь от нее, пучки света соединяются вновь, и, накладываясь друг на друга, создают интерференционные полосы, наблюдаемые в окуляре прибора. Если контролируемая поверхность ровная, то интерференционная картина будет представлять собой параллельные прямые линии, находящиеся на расстоянии друг от друга, равном половине длины световой волны (для белого света $\lambda/2 = 0,27$ мкм).

При наличии микронеровностей на поверхности линии искривляются, образуя гребни (рис. 3.19). С помощью окуляр-

ного микрометра прибора измеряют величину искривления интерференционной полосы "а" и расстояние между полосами "б".

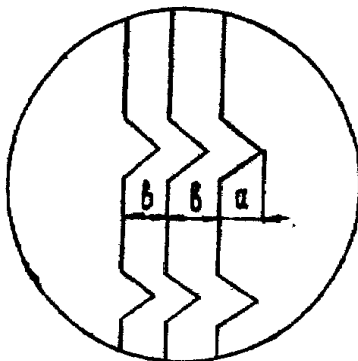


Рис. 3.19. Схема искажений интерференционных линий на неровностях поверхности детали

Затем проводят расчет значений величин микронеровностей по формуле:

$$R = \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

где λ - длина световой волны для данного прибора.

К приборам, используемых для определения высоты неровностей по принципу светового сечения, относится двойной микроскоп МИС-11. Он состоит из двух тубусов, расположенных под углом 90° друг к другу, и наклоненных к контролируемой поверхности под углом 45° . Луч света из осветительного тубуса падает на проверяемую поверхность. Полученное световое сечение рассматривается в окуляр визуального тубуса. Наблюдатель видит увеличенное изображение неровностей и отсчитывает высоту их при помощи шкалы, имеющееся в окулярном микрометре.

Для того, чтобы выразить высоту неровностей в микрометрах, проводится определение цены деления шкалы барабана окулярного микрометра при помощи объект-микрометра, который представляет собой стеклянную пластинку с нанесенной на ней шкалой с ценой деления $0,01$ мм.

К контактно-щуповым приборам относятся профилометры и профилографы. Профилометры предназначены для непосредственного показа параметров шероховатости поверхности, а профилографы - для записи профиля поверхности в виде профилограммы. Щуповые приборы основаны на перемещении алмазной иглы с радиусом кривизны 2,5 - 12,5 мкм по определенной трассе относительно контролируемой поверхности. Ось иглы располагают по нормали к поверхности. Опускаясь во впадины, а затем, поднимаясь на выступы во время движения ощупывающей головки относительно контролируемой поверхности, игла начинает колебаться относительно головки, повторяя по величине и форме огибаемый профиль поверхности. Механические колебания иглы преобразуются в подобные им электрические при помощи электромеханического преобразователя того или иного типа. Снятый с преобразователя полезный сигнал усиливают, а затем измеряют его параметры, подобные параметрам неровностей исследуемой поверхности (профилометрирование), или записывают профиль поверхности в выбранных вертикальном и горизонтальном масштабах (профилографирование).

Измерение с помощью контактно-щуповых приборов выполняются следующим образом. Деталь устанавливается на столике прибора и ориентируется так, чтобы угол наклона исследуемой поверхности к линии движения измерительного преобразователя был незначительным. Для этого осуществляют пробные проходы измерительного преобразователя с оценкой результата по шкале прибора без включения записывающего устройства. Базовую длину выбирают в соответствии с назначенными параметрами шероховатости, если ее значение не нормировано. После установки детали на столике прибора и выбора базовой длины, измеряют параметры шероховатости и записывают профилограммы. Измерения повторяют на ряде участков, чтобы получить достаточное представление о контролируемой поверхности. Число и расположение трасс измерений выбирают в зависимости от конфигурации и размеров поверхности, а также от разброса получаемых результатов из-

мерений. Направление измерений, если оно не оговорено, должно обеспечивать выявление максимальных значений параметров шероховатости поверхности. Если на поверхности детали есть явно выраженные регулярные следы обработки, трасса измерений должна быть направлена перпендикулярно к ним.

Задание

Лабораторная работа включает в себя ряд этапов, выполняемых под руководством преподавателя и лаборанта:

- 1) Изучить параметры шероховатости поверхности;
- 2) Ознакомиться со средствами контроля шероховатости и правилами работы с ними;
- 3) Проанализировать заданные параметры шероховатости поверхности, подлежащие контролю;
- 4) Выбрать методику выполнения измерений параметров шероховатости поверхности (направление измерений, число трасс и т. д.);
- 5) Выполнить измерение параметров шероховатости с использованием бесконтактных и контактных средств измерений;
- 6) Записать профилограмму одного из исследуемых участков поверхности и рассчитать по ней параметры шероховатости.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в соответствии с пунктами задания.

Содержание отчета

В отчете указывается цель работы и задание, список используемого для выполнения работы оборудования, приборов и их назначение. Приводятся результаты всех измерений с кратким описанием методики их получения.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Что понимается под шероховатостью поверхности;
- 2) Перечислите параметры шероховатости и дайте их определения;
- 3) Какие средства контроля шероховатости поверхности существуют;

- 4) Каков порядок подготовки к измерениям шероховатости поверхности с помощью контактно-щуповых приборов;
- 5) Как производится расчет параметров шероховатости по профилограмме.

3.2.2. Лабораторная работа № 5 КОНТРОЛЬ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Цель работы: ознакомление с методикой и средствами контроля отклонений формы и расположения плоских и цилиндрических поверхностей.

Оборудование, приборы, инструменты: автоколлиматор АК-0, 5У, труба измерительная визирная ППС-11, оптическая линейка ИС-36М, оптический плоскомер ИС-45, прибор ПБ, индикатор часового типа, стойка или штатив, микромер, штангенциркуль.

Объекты контроля: ступенчатые детали с несколькими плоскими поверхностями, параллельными основанию; ступенчатые детали с несколькими плоскими поверхностями, перпендикулярными к основанию гладкие или ступенчатые валики.

Общие положения

При нормировании точности геометрических параметров деталей исходят из предпосылки, что точность геометрии составляется из точности размеров и поверхностей. К погрешностям поверхностей относят: отклонения формы, отклонения расположения, волнистость и шероховатость поверхности.

Отклонением формы называют отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля (табл. 3.3). При этом шероховатость поверхности не включает в отклонение формы, а волнистость - включают.

Отклонением расположения называют отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения.

Элемент - обобщенный термин. В зависимости от конкретных условий, элементом может являться поверхность одной из законченных конструктивных частей детали, поперечный или продольный профиль этой части; плоскость симметрии; ось поверхности или сечения; точка пересечения линий, линии и поверхности; центр окружности или сферы.

Под допусками формы и расположения понимают наибольшие допускаемые значения отклонений формы и расположения. Допуск расположения или формы может быть зависимым и независимым. Зависимый допуск - переменный допуск расположения или формы, минимальное значение которого указывают на чертеже или в технических требованиях и которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера рассматриваемого и (или) базового элемента данной детали от проходного предела (наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия):

$$T_{\text{зав}} = T_{\text{min}} + T_{\text{доп}},$$

где T_{min} - минимальная часть допуска;

$T_{\text{доп}}$ - дополнительная часть допуска, зависящая от действительных размеров рассматриваемых поверхностей.

Независимый допуск расположения или форме - допуск, числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей, изготавливаемых по данному чертежу, и не зависит от действительного размера рассматриваемого или базового элемента. Под суммарным отклонением формы в расположения понимают отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности или рассматриваемого Профиля относительно заданных баз.

Суммарный допуск форма и расположения - предел, ограничивающий допускаемое значение суммарного отклонения формы, и расположения.

Для нормирования отклонений формы в расположения поверхностей установлены шестнадцать степеней точности, номера которых возрастают в порядке уменьшения точности.

Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения, плоскостности, прямолинейности и параллельности назначаются в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера. Предусмотрено три уровня относительной геометрической точности:

А - нормальная (назначается ≈ 60 % от допуска размера);

В - повышенная (≈ 40 % от допуска размера);

С - высокая (≈ 25 % от допуска размера).

Таблица 3.3

Виды отклонений формы

| Вид поверхности | Отклонения и допуски формы | | | |
|-----------------|----------------------------|--|---|---|
| | Комплексные | | Частные | |
| Плоская | Плоскостность | Прямолинейность (в плоскости или в пространстве) | | Выпуклость Вогнутость |
| Цилиндрическая | Цилиндричность | Поперечное сечение Продольное сечение | Круглость Отклонение профиля продольного сечения | Овальность Огранка Конусообразность Бочкообразность Седлообразность |

Средства измерения отклонений формы и расположения

Заданные в чертежах допуски форме и расположения поверхностей не определяют применение каких-либо конкретных методов и средств измерений. Они могут быть различными при условии, что обеспечивают контроль соблюдения предписанных допусков.

Выбор метода измерений производят с учетом погрешности измерения, допуска, размеров и конструкции измеряемой детали, особенностей технологического процесса изготовления деталей и степени его стабильности, производительности и стоимости измерений и других конструкторских, технологических и экономических факторов.

При измерении отклонений от прямолинейности и плоскостности широко применяют различные механические и оптико-механические устройства, в которых носителем исходных прямых, относительно которых определяют отклонения, являются поверочные линейки, плиты, натянутая струна, световой луч и пр.

Оптико-механические приборы, в которых в качестве исходной прямой используется луч света, по виду измеряемого параметра, подразделяют на автоколлимационные и визирные. В автоколлимационных приборах измеряют углы наклона отдельных участков поверхности изделия относительно оптической оси зрительной трубы, затем полученные данные пересчитывают в отклонения от прямолинейности или плоскостности. В приборах, работающих по методу визирования, измеряют расстояние от исследуемой поверхности до оптической оси трубы.

Измерение отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей автоколлиматором

Схема контроля плоской поверхности детали с помощью автоколлиматора представлена на рис. 3.20.

Труба 3 автоколлиматора закрепляется на жестком массивном основании 5 рядом с изделием 1. Затем устанавливают зрительную трубу под углом 90° к плоскости зеркала 2. Световое изображение марки автоколлиматора, отразившись от зеркала 2, будет наблюдаться в окуляре 4. При наклоне зеркала на угол α , в процессе перемещения его по изделию, отраженный луч возвращается в автоколлиматор под углом 2α , что вызывает смещение изображения наблюдаемой в окуляре марки. Угловое смещение зеркала определяет с помощью компенсатора.

К оптико-механическим приборам, работавшим по методу визирования, относят визирные трубы, оптические линейки, оптические плоскомеры. При монтаже или изготовлении крупногабаритных изделий используют контрольно-установочные оптико-механические установки с лазерным излучателем.

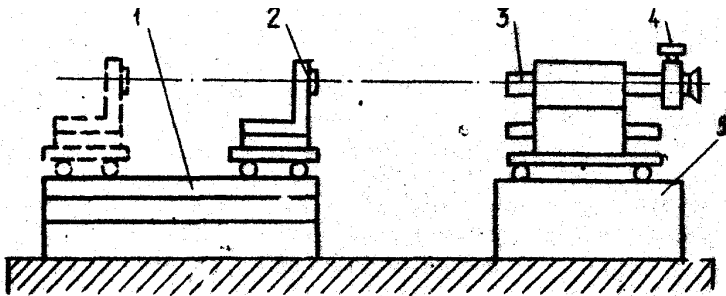


Рис. 3.20. Схема контроля плоскости автоколлиматором

Измерение отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей с применением визирной трубы и визирной марки.

Для этих целей применяется визирная измерительная труба ППС-II, предназначенная для измерения в линейных единицах отклонений от прямолинейности, плоскостности, соосности, параллельности, перпендикулярности и горизонтальности объектов протяженностью до тридцати метров. Величины отклонений точек реальной поверхности объекта измерения от линии визирования определяются с помощью оптического микрометра и шкалы марки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

При измерениях прибором ППС-II за базу принимают прямую, проходящую через крайние точки контролируемой поверхности. Мерой прямолинейности является оптический луч (его ось).

Методика измерений заключается в следующем; визирная труба I (рис. 3.21) ориентируется с помощью стойки 2 и визирной марки 3 так, чтобы ее оптическая ось была приблизительно параллельна измеряемому профилю детали 4. Марку в процессе измерения помещают в измеряемых точках профиля, наводят на нее визирную трубу и определяют смещение марки относительно оптической оси (в одной или двух координатах). По измеренным смещениям строят профилограмму.

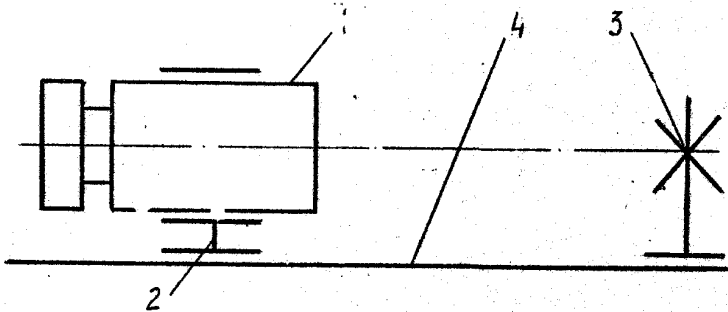


Рис. 3.21. Схема контроля прямолинейности визирной измерительной трубой

В зависимости от расположения линии визирования относительно выбранной базы, измерения производят способом параллельного или наклонного луча. Вторым способом можно производить измерения с большей точностью, чем первым.

При контроле объектов малой протяженности можно пользоваться способом параллельного луча, так как погрешность установки линии визирования в этом случае не окажет заметного влияния на точность измерений, а обработка результатов упрощается.

При контроле объектов большой протяженности рекомендуется пользоваться способом наклонного луча как наиболее точным и производительным, не требующим тщательной установки линии визирования.

Измерение отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей оптической линейкой.

Оптическая линейка ИС-36М (рис. 3.22) применяется для контроля прямолинейности и плоскостности измерением непрямолинейности в различных сечениях. Мерой прямолинейности является оптическая ось линейки. При проверке прямолинейности линейку 4 (тонкостенная труба с оптической системой) устанавливают на две опоры 3 на контролируемой поверхности I.

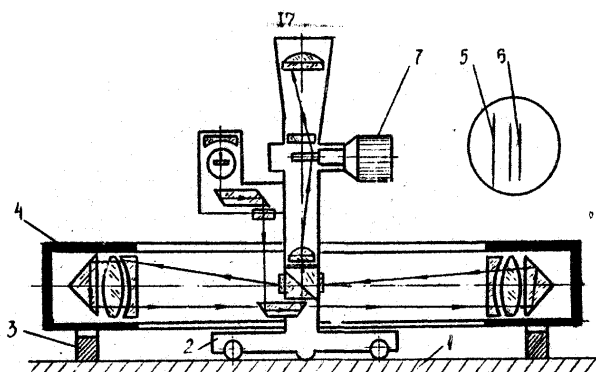


Рис. 3.22. Оптическая линейка ИС – 36М

Линейка имеет сквозной шлиц, вдоль которого измерительную каретку 2 перемещают в крайнее правое положение. При этом винтом в правой опоре производят регулировку до тех пор, пока в крайних положениях каретки видимые на экране визирный штрих 5 и бифилер 6 не совместятся (с разницей не более 1 мин), добиваясь, таким образом, параллельности оптической оси сравнения и прямой, соединяющей крайние точки проверяемой поверхности (такая прямая приближенно считается параллельной прилегающей прямой). Через определенные интервалы (одна десятая проверяемой длины) по барабану микрометра 7 берут отсчеты, совмещая визирный штрих и бифилер.

Измерение отклонений от плоскостности поверхности оптическим плоскомером.

Существует тип плоскомеров, в которых плоскость сравнения образуется вращением оптической оси визирного устройства. Визирное устройство вращается на плоской поверхности ситаллового диска и точность плоскости сравнения определяется не механической осью, а оптически обработанной плоской поверхностью ситалла, что обеспечивает точность метода, превышающую точность самого визирного устройства. Относящийся к этому типу оптический плоскомер ИС – 45 (рис. 3.23) состоит из поворотного коллиматора 1, измерительной марки и трех юстировочных масок 2.

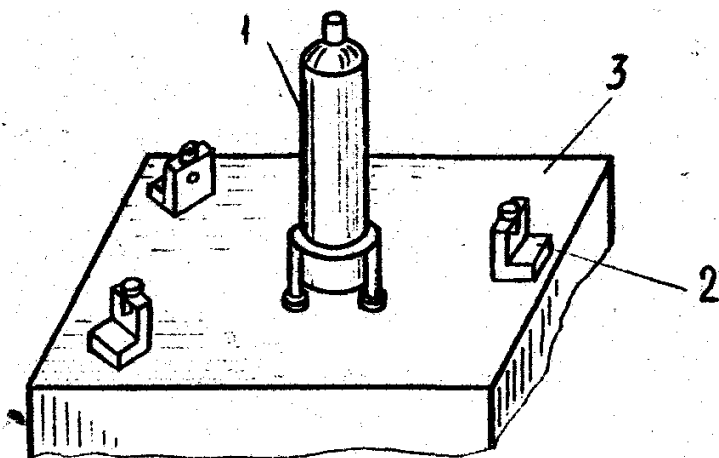


Рис. 3.23. Схема контроля плоскости оптическим плоскомером

Принцип работы на плоскомере заключается в следующем: юстировочные марки, установленные на контролируемой поверхности 3, образуют плоскость сравнения, в которую с помощью регулируемых опор коллиматора выставляется визирная ось трубы. При этом поверхность ситаллового диска автоматически устанавливается параллельно плоскости сравнения.

Измерения производят с помощью измерительной марки, которую помещают в различные точки контролируемой поверхности. С помощью оптического компенсатора измеряют отклонения от плоскостности поверхности.

Измерение радиального биения.

Для намерения радиального биения цилиндрическую деталь I (рис. 3.24) устанавливают в центрах 3 прибора ПБ, которые укреплены в бабках 4. Одна из бабок прибора имеет неподвижно укрепленный центр, вторая - специальный рычаг для быстрого отвода центра, что облегчает установку детали в центрах. Индикатор 2 укрепляют в державке стойки 5.

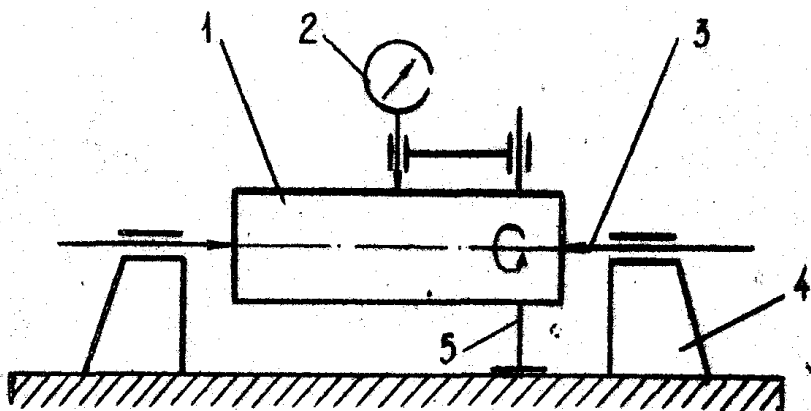


Рис. 3.24. Схема измерения радиального биения детали

После соответствующей настройки индикатора начинают медленно вращать деталь в центрах, отмечая наибольшее и наименьшее показания индикатора на полный оборот детали. Абсолютная величина разности наибольшего и наименьшего показаний (с учетом знака) называется радиальным биением.

Задание

Изучить теоретический материал и ознакомиться с приборами для контроля геометрических параметров деталей.

Овладеть кашками и правилами работы с приборами.

По заданию преподавателя произвести контроль отклонений формы и расположения поверхностей с помощью изученных приборов.

Оформить отчет о лабораторной работе.

Порядок выполнения работы

Проанализировать требования к точности параметров деталей, подлежащих контролю.

Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) каждого параметра (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства и т. д.).

Таблица 3.4

Результаты измерений отклонений от прямолинейности
и плоскостности автоколлиматором

| Координата | Значения координат точек | | | | |
|---------------|--------------------------|---|---|---|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | ... |
| Абсцисса, мм | | | | | |
| Ордината, мкм | | | | | |

Оценить погрешности измерений, сравнить их с допустимыми; выбрать МВИ, обеспечивающую требуемую точность.

Измерить параметры каждой контролируемой поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме (табл. 3.4, 3.5).

Таблица 3.5

Результаты измерений радиального биения детали
на приборе ПБ

| Поперечное сечение детали | Показание прибора | | Радиальное биение, мкм |
|---------------------------|-------------------|------------|------------------------|
| | наибольшее | наименьшее | |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |

Выполнить анализ и сравнить результаты измерений с допустимыми значениями параметров, дать заключение о годности деталей по контролируемым параметрам.

Вопросы для самоконтроля

Какие виды погрешностей поверхности существуют?

Что понимается под отклонением формы и отклонением расположения?

Что такое допуск формы и расположения?

Что понимается под суммарными отклонениями и допусками формы и расположения?

Какие уровни относительной геометрической точности предусмотрены?

В зависимости от каких факторов выбирается метод измерений?

Каковы принципы измерения с помощью автоколлиматора, визирной измерительной трубы, оптической линейки, оптического плоскомера?

Как производится измерение радиального биения?

4. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ И КОНУСОВ

4.1. Нормирование точности угловых размеров.

Стандарты и допуски угловых размеров и конических соединений. Конусность, уклон

4.1.1. Система единиц на угловые размеры

Углом в плоскости называется геометрическая фигура, образованная двумя лучами (сторонами угла), выходящими из одной точки (вершины).

Двугранным углом называется геометрическая фигура в пространстве, образованная двумя полуплоскостями, исходящими из одной прямой, а также часть пространства, ограниченная этими полуплоскостями. Полуплоскости называются гранями двугранного угла, а их общая прямая - ребром.

В промышленности чаще всего приходится иметь дело с двугранными углами, однако для удобства измерений требования к точности относятся к углу в плоскости, т.е. углу, получаемому пересечением двугранного угла плоскостью, перпендикулярной ребру.

Особую группу наиболее распространенной угловой детали в машиностроении составляют конусы. Используются только круговые конусы, т.е. детали, которые представляют собой поверхность вращения, образованную прямой, вращающейся относительно оси и пересекающей ее. В промышленности используются усеченные конусы, т.е. такие, которые пересечены плоскостью, параллельной основанию (окружности).

За единицу измерения плоского угла в международной системе единиц (СИ) принят радиан.

Радианом называется угол между двумя радиусами (сторонами угла), вырезающий на окружности дугу, длина которой

равна радиусу $\varphi = \frac{b}{R}$, где b - длина дуги, R - радиус окружности.

сти.

Однако более удобной для измерений является система единиц, основанная на градусной мере, в которой для отсчета угла используются градус, минута и секунда. Особенность этой системы заключается в использовании шестидесятичной системы счисления, т.е. более крупные единицы содержат 60 значений более мелкой (сопоставьте десятичное счисление линейных размеров в метрической системе: 1 м = 10 дециметрам, 1 дециметр = 10 см, 1 см = 10 мм).

Градусом ($^{\circ}$) называется единица плоского угла, равная $1/360$ части окружности или $1/90$ части прямого угла. Градус равен 60 угловым минутам ($'$), а минута—60 угловым секундам ($''$).

Соотношения между градусом и радианом:

$$360^{\circ} = 2\pi = 6.28318530 \text{ рад.}; 1^{\circ} = \frac{2\pi}{360} = 0.01745329 \frac{1}{57,3} \text{ рад.};$$

$$1 \text{ рад.} = \frac{360^{\circ}}{2\pi} = 57^{\circ}17' 45'' = 3437'45'' = 206265''.$$

Для оценки малых углов их иногда выражают через тригонометрические функции синуса и тангенса, принимая значение этих отношений практически равной значению угла, выраженной в радианной мере, т.е. $\text{tg } \alpha \approx \alpha \text{ рад.}; \sin \alpha \approx \alpha \text{ рад.}$ Погрешность при такой замене зависит от значения угла (рис. 4.1).

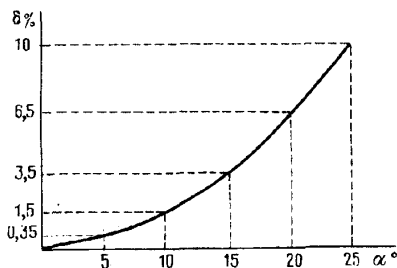


Рис. 4.1. Погрешность при замене тригонометрической функции на значение

В машиностроении для удобства измерения отклонение угла от заданного выражают в линейной мере, как изменение размера на определенной длине. Так, для указания точности угла наклона (рис. 4.2) нормируются допусковые значения h (в мкм) на длине L . Для пересчета линейных и угловых значений целесообразно запомнить, что на длине 206.3 мм (можно принять 200 мм) значение h , равное 1 мкм, соответствует углу в 1".

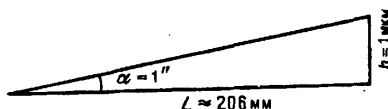


Рис. 4.2. Пересчет угловых величин в линейные

Соответствующий пересчет производится при других длинах и высотах с учетом указанного соотношения.

Таким образом, в машиностроении значение угла выражают либо в радианах, либо в градусах, приращении размера в линейной мере на определенной длине, т.е. возможно использовать три единицы для нормирования точности угловых размеров.

4.1.2. Нормирование требований к точности угловых размеров

1. Основные понятия. Для угловых размеров, так же как и линейных, существуют ряды нормальных углов, в том понимании, о котором говорилось ранее. Однако в отношении углов это понятие используется значительно реже, поскольку при разработке элементов деталей с угловыми размерами значение угла часто получается либо расчетным путем обеспечения определенных функций разрабатываемой конструкции механизма, либо определяется необходимым расположением функциональных узлов. Поэтому в отношении угловых размеров реже приходится пользоваться понятием нормального угла.

В отношении угловых размеров также используется понятие допуска, аналогичное допуску на линейный размер.

Допуском угла называется разность между наибольшим и наименьшим предельными допускаемыми углами. Допуск угла обозначается АТ (сокращение от английского выражения Angle toleranse — угловой допуск).

При нормировании точности угловых размеров не применяется понятие "отклонение", а предусматривается, что допуск может быть расположен по-разному относительно номинального значения угла (рис. 4.3). Допуск может быть расположен в плюсовую сторону от номинального угла (+АТ), или в минусовую (-АТ), или же симметрично относительно нулевой линии ($\pm АТ/2$). Естественно, что в первом случае нижнее, а во втором случае верхнее отклонения равны нулю, т.е. соответствуют случаю отклонений как для основного отверстия и основного вала при нормировании точности линейных размеров.

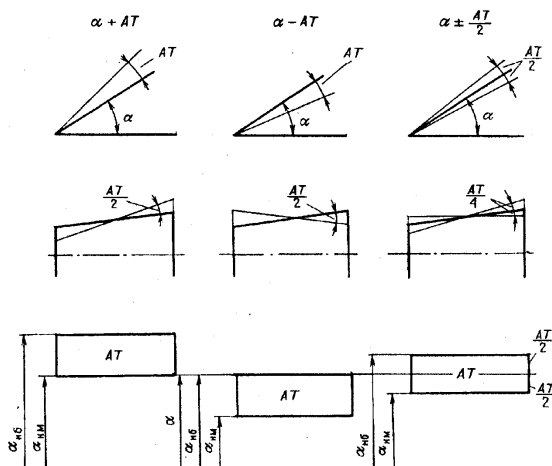


Рис. 4.3. Расположение допуска на угловые размеры относительно номинального значения угла:

α - номинальный угол

Особенность изготовления и измерения угловых размеров заключается в том, что точность угла в значительной мере зависит от длины сторон, образующих этот угол. И в процессе

изготовления и при измерении чем меньше длина стороны угла, тем труднее сделать точный угол и тем труднее его точно измерить. Правда, при очень длинных сторонах появляются искажения линий, образующих угол (отклонение от прямой линии). Исходя из этих особенностей угловых размеров, при нормировании требований к точности угла значение допуска задается в зависимости от значения длины меньшей стороны, образующей угол, а не от значения номинального угла.

2. Способы выражения допуска угла. С учетом того, что значение угла можно выразить несколькими единицами, при нормировании требований к точности значения допуска выражается разными способами и используется разное обозначение (рис. 4.4):

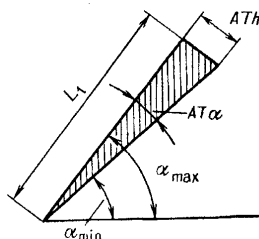


Рис. 4.4. Способы выражения допуска на угловые размеры

AT_α - допуск, выраженный в радианной мере, и соответствующее ему точное значение в градусной мере;

AT'_α - допуск, выраженный в градусной мере, но с округленным значением по сравнению с радианным выражением;

AT_h - допуск, выраженный в линейной мере длиной отрезка на перпендикуляре к концу меньшей стороны угла;

AT_D - допуск, относящийся только к углу конуса и выраженный также в линейной мере, но как разность диаметров на заданном расстоянии в сечении конуса плоскостями, перпендикулярными к оси конуса.

В отношении конусов допуск задается чаще всего в зависимости от длины образующей. Когда угол конуса небольшой (конусность не более 1:3), допуск задается в зависимости от длины конуса.

Связь между допусками в угловых и линейных единицах выражается зависимостью $AT_h = AT_\alpha L_1 \cdot 10^{-3}$, где AT_h измеряется в микрометрах, AT_α — в микро радианах; L_1 — длина меньшей стороны угла в миллиметрах. Этой формулой можно пользоваться и при пересчете отклонений угла в радианной мере к значениям угла в линейной мере.

3. Ряды точности для угловых размеров.

Установлены 17 рядов точности, названных степенями точности (с 1 по 17). Понятие "степень точности" идентично понятию "квалитет", "класс точности".

Обозначение точности производится указанием условного обозначения допуска на угол и степени точности, например $AT5, AT7$.

Ряды допусков, т.е. разность между допусками соседних степеней, образованы с помощью коэффициента 1.6, т.е. если необходимо получить допуски угла для 18-го квалитета, которого нет в стандарте, надо допуски AT_{17} умножить на 1.6, а для получения AT_0 надо допуски AT_1 разделить на 1.6.

Наибольшая длина стороны угла принята 2500 мм, а первый интервал длин сторон дается для размеров до 10 мм без указания нижнего предела. Интервалы длин сторон для угловых размеров не совпадают с интервалами, принятыми для линейных размеров.

4.1.3. Нормирование точности конических поверхностей

Размеры конусов могут задаваться различными способами. Линейные размеры задаются диаметром большого основания D , диаметром малого основания d и длиной конуса L , под которой обычно понимается расстояние между основаниями усеченного конуса (рис. 4.5).

Угловые размеры конуса могут указываться несколькими вариантами.

Угол конуса α - угол между образующими конуса в сечении конуса плоскостью, проходящей через ось конуса.

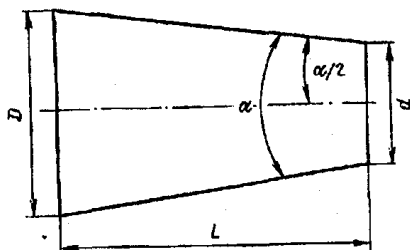


Рис. 4.5. Геометрические параметры конического элемента детали

Часто вместо угла конуса указывается угол наклона $\alpha/2$, т.е. угол между образующей и осью конуса. Углы конуса и уклона задаются в градусной мере.

Для стандартизованных конических соединений указанные размеры угла конуса осуществляют чаще всего через понятие "конусность". Конусность C —отношение разности диаметров большого и малого основания к длине конуса, т.е.

$$C = \frac{D - d}{L} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (4.1)$$

Конусность может быть задана и как отношение разности диаметров любых двух поперечных сечений к расстоянию между этими сечениями.

Часто конусность указывается в виде отношения вида $1:X$, где X —расстояние между поперечными сечениями конуса, разность диаметров которых равна 1 мм. Это необходимо для того, чтобы выражать конусность целым числом, а также для удобства измерения. Например, для так называемых метрических конусов, у которых угол конуса равен $2^\circ 51' 51''$, конусность выражается как $1:20$, т.е. два сечения с разностью диаметров 1 мм отстоят друг от друга на 20 мм.

В современных станках с ЧПУ используются конусы, угол которых обозначается как $7:24$. Это обозначение является как бы некоторым исключением из указанного выше правила, но в то же время с использованием принципиального подхода

о выражении конусности целым числом. Эта запись (7:24) означает, что на длине конуса в 24 мм вдоль оси разность диаметров составляет 7 мм, а не 1 мм, как обычно указывается. Такое обозначение сделано опять же для того, чтобы использовать целые числа, так как угол для этих конусов равен $16^{\circ}35'40''$.

В машиностроении широко применяются конусы под названием "конус Морзе" с номерами от 0 (нуль) до 6. Наибольшие диаметры у этих конусов находятся приблизительно от 9 мм (Морзе 0) до 60 мм (Морзе 6), а угол конуса, хотя и не постоянен у всех конусов, но близок к углу 3° .

Конические сопряжения используют для обеспечения сопряжения, при которых требуется частая разборка и сборка при хорошем центрировании сопрягаемых деталей. Типичным случаем наиболее частого применения конусов является установка режущего инструмента в шпинделе металлорежущих станков.

Конические сопряжения используются и при необходимости обеспечения герметичности соединения, например, в гидропередачах, пробках кранов и т.д.

Достоинством конических сопряжений является обеспечение сопряжения, передающих крутящий момент без дополнительного крепления, только за счет трения; возможность компенсации износа рабочих поверхностей осевым смещением; обеспечение центрирования, т.е. расположения осей сопрягаемых деталей на одной прямой. Однако в последнем случае это обеспечивается только при точном изготовлении. При неточном изготовлении или появлении забоин на рабочих поверхностях коническое сопряжение может привести к худшему центрированию по сравнению с цилиндрическим. Поэтому для конических поверхностей необходимо нормировать требования не только к значению угла конуса, но и к другим его параметрам — отклонению от круглости, отклонению образующей от прямолинейности, а для многих конусов — требования к одному из диаметров у торцов (чаще всего наибольшему диаметру).

Для оценки диаметральных размеров и конусности в конусах

существует еще понятие "базовая плоскость конуса", т.е. плоскость, перпендикулярная оси конуса для определения его осевого положения относительно сопрягаемой с ним детали.

Нормирование отклонений в отношении осевого положения конусов задается базорасстоянием (осевое расстояние), т.е. расстоянием между базовыми плоскостями, соответствующими идеальным осевым положениям сопрягаемых поверхностей. За базовые поверхности обычно принимают поверхности конусов, буртиков, уступов и т.д., исходя в основном из возможности измерения. При нормировании конических сопряжениях задается допуск на базорасстояние.

4.2. Лабораторная работа № 6 ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ И КОНУСОВ

Цель работы: ознакомление с методикой и средствами измерения углов и конусов.

Оборудование, приборы и инструменты

1. Угломер транспортный.
2. Угломер универсальный.
3. Оптический угломер.
4. Синусная линейка.
5. Набор угловых деталей.
6. Набор калибров – пробок для конусов инструментов, конусных деталей.
7. Набор конусных втулок.
8. Набор шариков разных диаметров.
9. Набор призматических угловых мер.

Общие положения

В качестве единицы измерения углов в системе СИ принят радиан. Однако измерение углов в радианах на практике связано с большими трудностями, так как ни один из современных приборов не имеет градуировки в радианах.

В машиностроении для угловых измерений применяются внесистемные единицы: градус, минута, секунда. Эти единицы связаны между собой следующими соотношениями.

$$1 \text{ рад} = 57^{\circ}17'45'' \approx 206265^{\text{I}}$$

$$1^{\text{I}} = \frac{\pi}{180} \text{ рад} \approx 1,745329 \times 10^{-2} \text{ рад}$$

$$1^{\text{I}} = \frac{\pi}{10800} \text{ рад} \approx 2,908882 \times 10^{-4} \text{ рад}$$

$$1^{\text{II}} = \frac{\pi}{648000} \text{ рад} \approx 4,848137 \times 10^{-6} \text{ рад}$$

При измерении конусов углы при вершинах характеризуются конусностью K – отношением разности диаметров в двух поперечных сечениях конуса к расстоянию между ними:

$$K = \frac{D-d}{l} = 2tg\alpha$$

В машиностроении в зависимости от используемых средств и методов измерений различают три основных метода измерения углов:

1. Сравнительный метод измерения углов с помощью жестких угловых мер.

2. Абсолютный метод измерения углов, при котором измеряемый угол определяется непосредственно на угломерной шкале прибора.

3. Косвенный тригонометрический метод: угол определяется расчетным путем по результатам измерений линейных размеров.

Угломер транспортный (рис. 4.6, а) состоит из основания I, на котором нанесена шкала на дуге 120° . На основании жестко закреплена линейка; подвижная линейка 3 вращается с конусом 5. Для точной установки на определенный угол винт 6 стопорится при помощи микрометрического винта линейки 3

вместе конусом приводится в требуемое положение. Для измерения углов от 0° до 90° на линейку надевается угольник 4. Измерение углов от 90° до 180° производится без угольника.

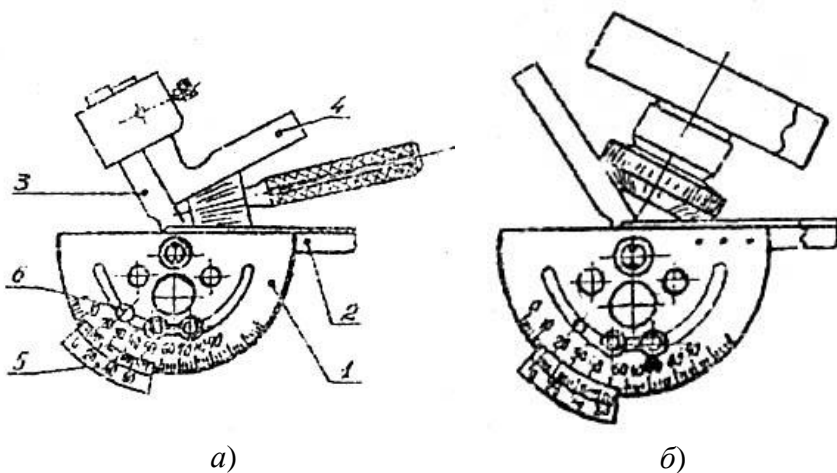


Рис. 4.6. Устройство угломера транспортного

Угломер универсальный (рис. 4.7, *a*) состоит из основания I, на котором нанесена основная градусная шкала сектора 2 с закрепленным на нем конусом 3. с помощью державки 4 на секторе 2 закрепляется съемный угольник 5 и съемная линейка 6. Линейка основания 7 жестко соединена с основанием I. основная шкала на дуге 130° . Путем различных комбинаций в установке измерительных деталей угломера достигается возможность измерения в диапазоне от 0° до 320° . Различные способы применения угломера на рис. 4.7. Цена деления основной шкалы 1° , нониусной – $2'$.

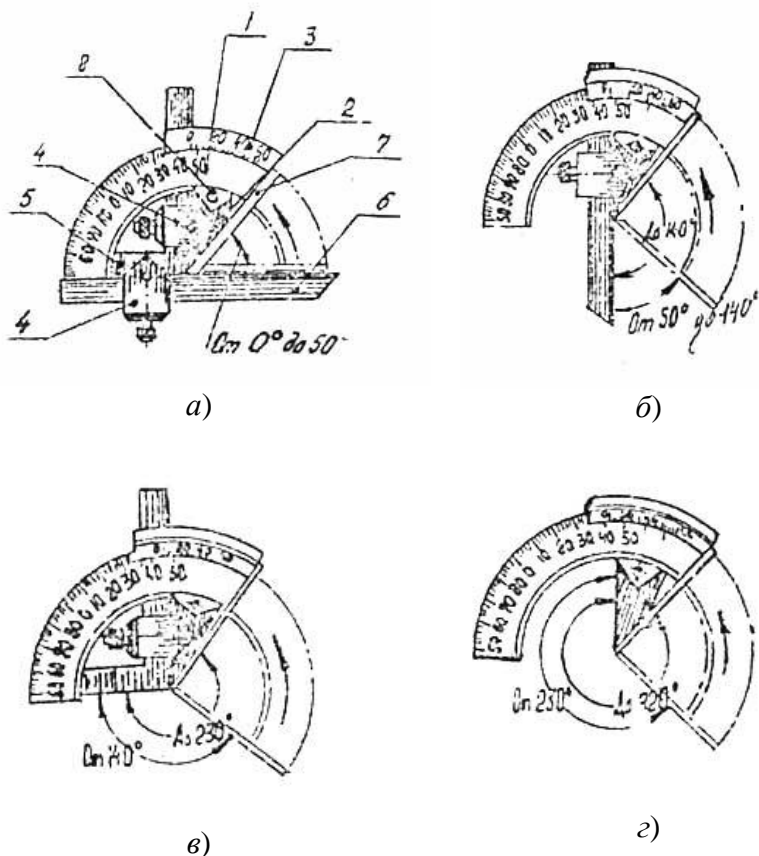


Рис. 4.7. Устройство угломера универсального

Оптический угломер предназначен для измерения наружных углов от 0° до 180° и внутренних от 30° до 180° . Цена деления шкалы лимба – 10. Прибор состоит из конуса 2 с отсчетным устройством, двух линеек 1 и 3, угол между ними устанавливается поворотом по часовой стрелке кольца 4 и фиксирует стопором 5. Подставка 6 закрепляется с помощью вкладыша 7, прижима 8 и гайки 9 и служит для удобной установки прибора на плоскую или цилиндрическую поверхность изделия.

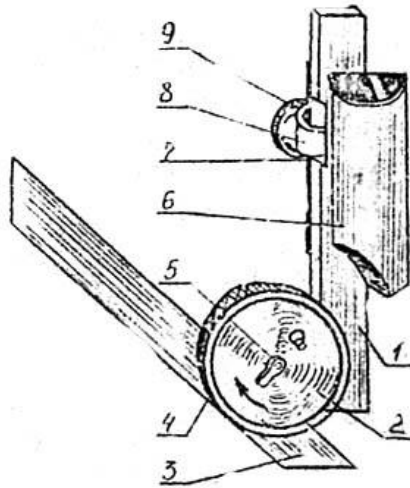


Рис. 4.8. Оптический угломер

Измерение углов с помощью синусной линейки относится к тригонометрическому методу, заключающемуся в измерении линейных величин, позволяющих вычислить через тригонометрические функции искомых углов сами углы.

Синусная линейка (рис. 4.9) представляет собой стальную плиту с двумя прикрепленными к ней цилиндрическими роликами одинакового диаметра. Расстояние между осями роликов выдержано с высокой точностью и может быть равно 100 или 200 мм. Порядок измерения углов с помощью синусных линеек иллюстрируется схемой контроля наружного конуса (рис. 4.9). Проверяемая деталь закрепляется на плоскости стояка линейки, устанавливаемой на контрольной плите. Под один из роликов подводится блок концевых мер размером h . Зависимость между углом наклона L синусной линейки и размером l блока плиток определяется из соотношения

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}.$$

Отклонение угла от номинального значения определяют по разности показаний в сечениях a и b , отнесенной к расстоянию l .

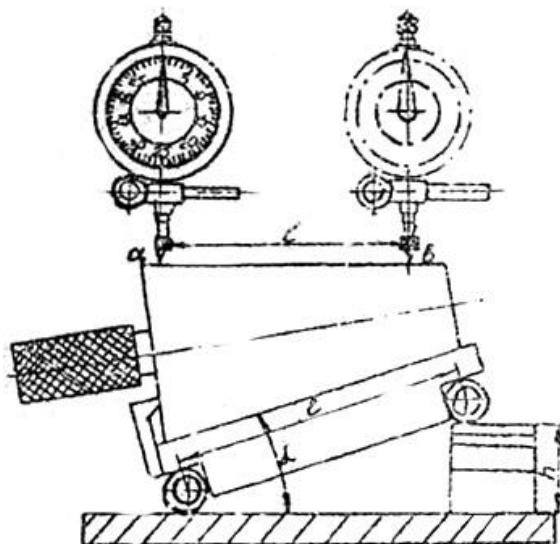


Рис. 4.9. Схема измерения

Задание

1. Ознакомиться с устройством и методикой измерения угломером транспортным.
2. Ознакомиться с устройством и методикой измерения универсальным угломером.
3. Ознакомиться с устройством и методикой измерения оптическим угломером.
4. Ознакомиться с устройством и методикой измерения синусной линейкой
5. Ознакомиться с конструкцией жестких угловых мер.
6. Изучить методику измерения угла внутреннего конуса при помощи двух шариков.

Порядок выполнения

1. Определить погрешность показания угломера. Проверку погрешности показаний угломеров производят по угловым мерам не менее, чем в пяти-семи точках, расположенных равномерно по основной шкале и шкале конуса при открепленном и закрепленном стопорном винте. Проверку угломеров производят по блокам угловых мер с углами $15^{\circ}10$, $30^{\circ}20$, $45^{\circ}30$, $60^{\circ}40$, $75^{\circ}50$, $134^{\circ}30$.

Показания угломеров при совмещении их измерительных поверхностей с измерительными поверхностями угловых мер без видимого просвета не должны отличаться от действительных размеров угловых мер более, чем на ± 2 .

Результаты проверки записать в форму отчета 6.

2. Измерить угломером деталь № ____ (по указанию преподавателя или лаборанта).

3. Измерить конусность детали, для чего:

Установить на проверочную плиту синусную линейку и закрепить на ней деталь (калибр-пробку).

Определить по маркировке калибра конусность, найти угол 2α и подсчитать размер блока плиток по формуле:

$$h = l \sin 2\alpha, \text{ мм}$$

Подсчитать разность показаний индикатора в точках a и b синусной линейки. На проверочную плиту установить индикатор, закрепленный в универсальной стойке. Индикатор установить на нуль в точке a .

Переместить индикатор по проверочной плите в точку b . Расстояние l между точками a и b измерить с помощью линейки.

Подсчитать разность показаний индикатора в точках a и b . Определить погрешность конусности:

$$\Delta K = \frac{n}{l}$$

Подсчитать отклонение угла конуса от номинального размера по формуле

$$\Delta 2l = \frac{n}{l} \cdot 2 \cdot 10^5$$

Результаты измерений и расчета записать в форму 6 отчета.

Определить угол конуса детали (калибра-втулки) при помощи двух шариков, для чего:

В конусе отверстие детали закладывается меньший шарик диаметром d и измеряется расстояние H (рис. 4.10).

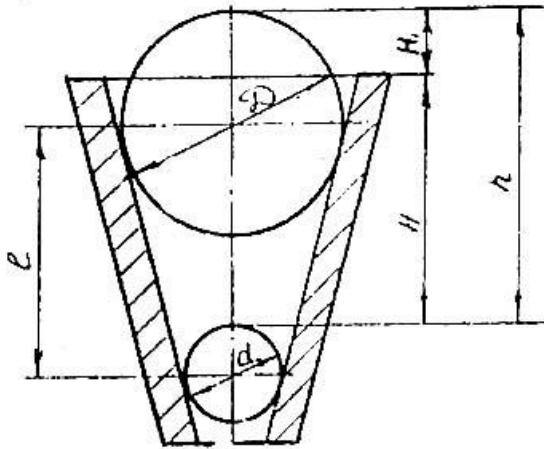


Рис. 4.10. Схема измерения

Закладывается большой шарик диаметром D и изменяется расстояние h , как $H + H_1/$

Значение половины угла конуса подсчитывается по формуле

$$\sin \alpha = \frac{D - d}{2l},$$

где

$$l = H + h - \frac{D - d}{2}.$$

Если верхний шарик будет утоплен, тогда формула примет вид:

$$l = H - h - \frac{D - d}{2}$$

Диаметр закладываемых шариков может быть любым, но их целесообразно выбирать таким образом, чтобы расстояние между ними было возможно большим.

Диаметр шариков должен быть аттестован на оптиметре. Величины H и h изменяются при помощи штангенглубиномеров.

Результаты измерений записать в форму 6 отчета.

Форма 6

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № 6
ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ И КОНУСОВ

1. Определить погрешность показаний угломера № _____

Таблица 4.1

| Проверяемые точки | Отклонение от номинала при открытом стопорном винте | Отклонение от номинала при закрытом стопорном винте |
|-------------------|---|---|
| 15 10 | | |
| 30 20 | | |

2. Измерить угломером деталь № _____

Таблица 4.2

| Эскиз измеряемой детали | Углы | Результаты измерений |
|-------------------------|------|----------------------|
| | | |

3. Измерить отклонение от конусности калибра-пробки на синусной линейке с расстоянием между роликами

Таблица 4.3

| Эскиз измерения | Показания прибора d, b | Разность показаний, мм | Расстояние между a и b | Отклонение конусности |
|-----------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | | | | |

4. Определить угол конуса калибра втулки при помощи двух шариков

Таблица 4.4

| Эскиз измерения | № измерения | | | | | | | |
|------------------|-------------|--|--|--|--|--|--|--|
| | 1 | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | |
| | · | | | | | | | |
| | · | | | | | | | |
| | · | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | |
| Среднее значение | | | | | | | | |

Работу выполнил

Подпись студента

Работу принял

Подпись преподавателя

Контрольные вопросы

1. Какие методы контроля углов и конусов Вы знаете?
2. Какие угломеры обеспечивают точность измерения углов до 2 и грубее?
3. Перечислите рекомендуемые методы и средства контроля конусов.

5. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

5.1. Нормирование точности метрической резьбы

5.1.1. Резьбовые соединения, используемые в машиностроении

Резьбовым соединением называется соединение двух деталей с помощью резьбы, т.е. элементов деталей, имеющих один или несколько равномерно расположенных винтовых выступов резьбы постоянного сечения, образованных на боковой поверхности цилиндра или конуса.

Контур сечения канавок и выступов в плоскости, проходящей через ось резьбы, общий для наружной и внутренней резьбы, называется профилем резьбы.

В зависимости от профиля, т.е. от вида фигуры в сечении, резьба бывает треугольной (рис. 5.1, *a*), трапециевидальной (рис. 5.1, *б*), пилообразной (рис. 5.1, *в*), круглой (рис. 5.1, *г*), прямоугольной (рис. 5.1, *д*).

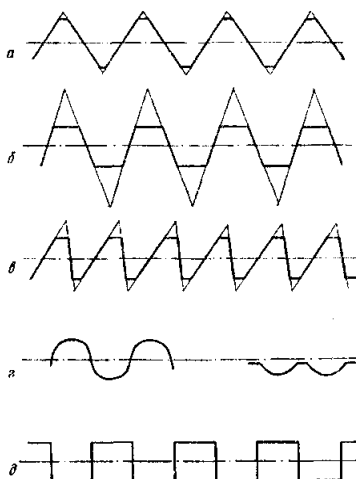


Рис. 5.1. Профили резьбовых соединений

В зависимости от поверхности, на которой нанесена резьба, она разделяется на цилиндрическую и коническую (конусную). Кроме того, резьбы разделяют на наружные, которые часто для краткости называют болтом, и внутренние — часто называют гайкой. В дальнейшем мы тоже будем пользоваться и этими краткими терминами.

По эксплуатационному признаку, т.е. по области применения, резьбы бывают следующих видов:

1. Крепежная резьба, используемая для обеспечения разъемного соединения. К этим резьбам предъявляются требования в отношении прочности соединения при длительной эксплуатации. Она обычно имеет треугольный профиль и наиболее распространена.

2. Кинематическая резьба, используемая для преобразования вращательных движений в поступательные в так называемых винтовых механизмах. Такие резьбы используются на ходовых винтах станков, домкратах, прессах и т.д. Эти резьбы обычно имеют трапециевидный или круглый профиль. Основное требование к этим резьбам — обеспечение точного и плавного перемещения. Во многих случаях они должны обладать способностью выдерживать большие нагрузки.

3. Трубные и арматурные резьбы — цилиндрические и конические, используемые для соединения труб в нефтеперерабатывающей промышленности, сантехническом оборудовании и т.д. Основное требование к этим резьбам — обеспечение герметичности и прочности соединения.

По числу заходов (т.е. по числу винтовых выступов) резьбы бывают однозаходные и многозаходные.

В зависимости от используемых единиц измерения, в которых выражаются параметры, резьбы разделяются на метрические и дюймовые. Пожалуй, только в резьбовых соединениях еще широко используется во всем мире дюймовая система, которая в остальных разделах машиностроения постепенно заменяется даже в странах использующих эту систему (США, Англия).

Наибольшее распространение имеет резьба треугольная с углом профиля 60° , нормирование точности которой будет рассмотрено в этой теме. Такая резьба известна во всем мире под названием "метрическая".

В США идет постепенный процесс замены дюймовой резьбы на метрическую. Было подсчитано, что для такого перехода потребуются затраты до 40 млрд. долларов, но при этом ожидается прибыль от 1 до 20 млрд. долларов в год.

5.1.2. Номинальный профиль метрической резьбы и ее основные параметры

Основным профилем резьбы является общий для наружной и внутренней резьбы профиль, который называется номинальным и размеры его линейных и угловых элементов служат основой для определения номинальных профилей для болта и гайки.

В основу профиля метрической резьбы положен треугольник (рис. 5.2), у которого срезаны вершины.

Для образования рабочей высоты профиля H_1 из общей высоты равнобедренного треугольника H в профиле резьбы предусмотрен срез вершины острых углов у гайки $H/4$ и у болта $H/8$. Исходная высота профиля H установлена в зависимости от шага резьбы и равна $0,8660254P$, где P — шаг резьбы.

Реальный профиль впадин у наружной резьбы (болта) не должен выходить за линию плоского среза на расстоянии $H/4$ от вершины исходного треугольника, а у внутренней резьбы (гайки) — на расстоянии $H/8$.

Форма впадины у наружной резьбы (болта) не регламентируется и может быть плоскосрезанной или закругленной. При плоскосрезанной впадине у болта срез должен быть расположен на высоте от $H/4$ до $H/8$ от вершины исходного треугольника. При закругленной форме впадины радиус должен быть не менее $0,1 P$, а профиль располагается в зоне от $H/8$ до $3H/16$. Для гайки форма впадины резьбы вообще не регламентируется, но, в основном, делается закругленной и параметры

ее определяются нормированием требований к резьбообрабатывающему инструменту, при изготовлении которого используются чаще всего, указанные радиусы закругления.

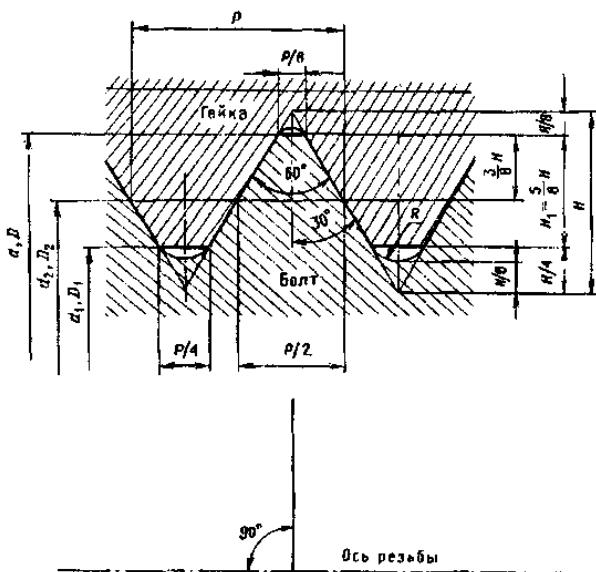


Рис. 5.2. Профиль метрической резьбы и ее основные параметры

Закругленная форма впадин является предпочтительной по прочностным соображениям. При такой форме облегчается процесс изготовления резьбы накатыванием, который часто применяется для резьбовых деталей крепления. И при нарезании впадин закругленной формы достигается большая стойкость режущего инструмента по сравнению с обработкой плоскосрезанной впадины.

Для обеспечения эксплуатационных свойств резьбы при изготовлении и измерении из сложного профиля резьбы выделяется ряд элементов, которые являются одинаковыми для болта и гайки и используются при нормировании.

Этими элементами являются наружный диаметр болта d и гайки D , внутренний диаметр болта d_1 и гайки D_1 средний диаметр болта d_2 и гайки D_2 , шаг резьбы P и угол профиля резьбы α .

1. Наружный диаметр d и D (он же номинальный диаметр резьбы) — диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы (болта) или по впадинам внутренней резьбы (гайки). Когда говорят, что резьба диаметром 20 мм, то это означает, что у нее наружный диаметр равен 20 мм (обратите внимание на расположение этих диаметров, особенно у гайки).

2. Внутренний диаметр d_1 и D_1 — диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной резьбы (болта) или вершин внутренней цилиндрической резьбы (гайки).

Необходимо обратить внимание, что номинальные значения и расположения наружного и внутреннего диаметров совпадают для болта и для гайки, но с точки зрения геометрической фигуры термины "наружный" и "внутренний" соответствуют болту, у которого наружный диаметр действительно находится "снаружи", а внутренний — "внутри"; в то время, как у гайки, называемый наружный диаметр, находится внутри, а внутренний диаметр — снаружи. Если посмотреть на резьбу гайки, находящуюся внутри нее, можно увидеть "на просвет" внутренний диаметр, а наружный диаметр ее, практически, увидеть невозможно.

3. Средний диаметр d_2 и D_2 — диаметр воображаемого цилиндра, соосного с резьбой, каждая образующая которого пересекает профиль таким образом, что отрезок, образованный при пересечении с канавкой, равен половине номинального шага.

4. Шаг резьбы P — расстояние по линии, параллельной оси резьбы, между средними точками ближайших одноименных боковых сторон, лежащих в одной осевой плоскости по одну сторону от оси резьбы.

В отношении шагов используется условное разделение их на крупные и мелкие. Дело в том, что на цилиндрической

поверхности любого диаметра можно нарезать резьбу с разными шагами. В нормативных документах введено ограничение на значения шагов и указывается несколько шагов. Например, для диаметра 20 мм устанавливаются шаги 2,5; 2; 1,5; 1; 0,75; 0,5 мм. Самый большой шаг для номинального диаметра (в примере — это 2,5 мм) называют условно крупным шагом, а остальные — мелкими шагами.

Мелкие шаги используются для нарезания резьбы в тонкостенных деталях при ограниченной возможности в отношении длины свинчивания. Например, в фотоаппаратах для объектива используется диаметр резьбы 42 мм с шагом 1 мм — это мелкий шаг, так как стенка фотоаппарата небольшая. Крупный шаг для такой резьбы, равный 4,5 мм, потребовал бы толстой стенки камеры, увеличивая ее массу.

Для многозаходных резьб вместе с термином шаг используется еще термин ход — расстояние по линии, параллельной оси резьбы, между любой исходной средней точкой на боковой стороне резьбы и средней точкой, полученной при перемещении исходной средней точки по винтовой линии на угол 360° . Другими словами, это шаг одной из винтовых линий, из которых состоит многозаходная резьба.

5. Угол профиля резьбы α — угол между смежными боковыми сторонами резьбы в плоскости осевого сечения. Для нормирования чаще используется угол $\alpha/2$ — угол наклона между боковой стороной резьбы и перпендикуляром к оси резьбы. Это установлено для того, чтобы можно было выявить перекося резьбы из-за неточности установки инструмента. Иначе может оказаться, что профиль выдержан правильно, но относительно оси развернут и сопряжение может не произойти. Для метрической резьбы $\alpha = 60^\circ$.

У некоторых резьб профиль делается не симметричным, в этом случае используется термин угол наклона боковой стороны резьбы β , γ — угол между боковой стороной резьбы и перпендикуляром к оси резьбы в плоскости осевого сечения.

6. Длина свинчивания l — длина взаимного соприкосновения наружной и внутренней резьб в осевом направлении.

Часто этот элемент называют высотой гайки.

Резьбовые соединения по характеру соединения бывают такими же, как и для гладких элементов деталей, т.е. посадки с зазором, натягом и переходные. Однако для условий крепления деталей наибольшее, если не сказать подавляющее, распространение имеют посадки с зазором. Поэтому последующие материалы по нормированию будут относиться к посадкам с зазором.

5.1.3. Нормируемые параметры метрической резьбы для посадок с зазором

Взаимозаменяемость резьбы обеспечивается ограничением предельных контуров профиля резьбы, сопрягаемых элементов деталей на всей длине свинчивания. Допускаемые отклонения резьбы задаются от номинального профиля перпендикулярно оси резьбы "в тело" болта и гайки.

На рис. 5.3 показано расположение полей допусков на наружную резьбу (болт) и на внутреннюю (гайка) для наиболее распространенной посадки скольжения, у которой в предельном случае зазор может быть равен нулю.

Для метрической резьбы нормируется точность следующих элементов: точность наружного диаметра болта (T_d); внутреннего диаметра гайки (TD_1); среднего диаметра болта и гайки (Td_2), (TD_2). Таким образом, точность наружного диаметра гайки и внутреннего диаметра болта не нормируются совсем и ограничиваются размерами резьбообрабатывающего инструмента, в котором указаны нормы точности. Более строго, надо сказать, что для этих элементов нормируется только одно отклонение, соответствующее номинальному профилю, а именно, верхнее отклонение (es) для d_1 и нижнее отклонение (EJ) для D , и не нормируются нижнее отклонение e_i для d_1 и верхнее отклонение (ES) для D .

На рис. 5.3 везде обозначены только половины допусков нормируемых элементов, поскольку изображена не вся резьба, а только одна ее половина.

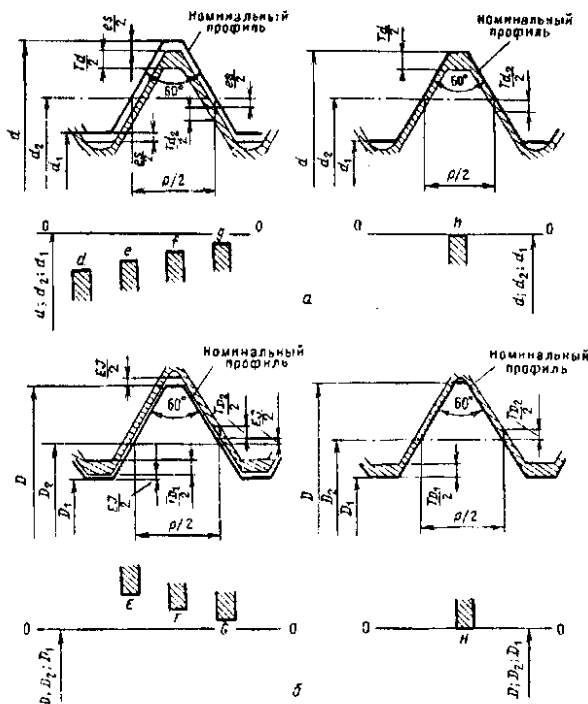


Рис. 5.3. Расположение полей допусков на наружную (а) и внутреннюю (б) резьбы для образования посадки скольжения (с зазором)

Как видно из приведенных данных, для метрической резьбы не нормируются также требования к точности шага и угла профиля резьбы. Это объясняется тем, что нормирование точности этих элементов связано с диаметральной элементом резьбы — средним диаметром. Допуск на средний диаметр является суммарным, т.е. он включает в себя допускаемые отклонения не только на средний диаметр (собственно средний диаметр), но и допуск на угол профиля и шаг. Очень часто обобщенный параметр — средний диаметр совместно с влиянием погрешности шага и профиля называют приведенным средним диаметром резьбы и для него нормируются точностные требования.

5.1.4. Понятие о приведенном среднем диаметре резьбы

Приведенным средним диаметром резьбы называется средний диаметр воображаемой идеальной резьбы, которая имеет те же шаг и угол наклона боковых сторон, что и основной или номинальный профиль резьбы, и длину, равную заданной длине свинчивания, которая плотно (без взаимного смещения или натяга) соприкасается с реальной резьбой по боковым сторонам резьбы (рис. 5.4).

Коротко говоря, приведенный средний диаметр резьбы — это средний диаметр идеального резьбового элемента, который соединяется с реальной резьбой. Когда говорят о приведенном среднем диаметре резьбы, не надо представлять себе его как расстояние между двумя точками. Это диаметр условной идеальной резьбы, которой нет в действительности как материального объекта и которая могла бы свернуться с реальным резьбовым элементом при всех погрешностях его параметров. Этот средний диаметр невозможно измерить непосредственно. Его можно проконтролировать, т.е. узнать, находится ли он в допусках. А для того, чтобы узнать числовое значение приведенного среднего диаметра, необходимо отдельно измерить значения параметров резьбы, препятствующие свинчиванию и рассчитать этот диаметр.

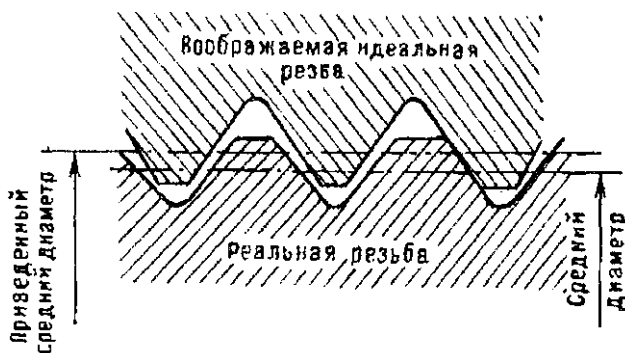


Рис. 5.4. Приведенный средний диаметр резьбы

Препятствием для свинчивания могут быть как погрешности среднего диаметра, так и погрешности шага и профиля (угла наклона) резьбы.

При изготовлении резьбы отклонения отдельных элементов резьбы зависят от погрешности отдельных источников технологического процесса. Так, погрешность шага резьбы, обработанной на резьбообрабатывающих станках, в основном, зависит от погрешности шага ходового винта станка, угол профиля — от неточности заправки угла инструмента и его установки относительно оси резьбы.

Однако влияние ошибок шага и ошибок профиля у резьбы с прямолинейной образующей профиля можно устранить (скомпенсировать) уменьшением среднего диаметра болта или увеличением среднего диаметра гайки для того, чтобы обеспечить свинчивание деталей, т.е. образования резьбового сопряжения (обеспечения сборки).

Необходимо помнить, что резьбовые поверхности болта и гайки никогда не соприкасаются по всей винтовой поверхности, а только на отдельных участках. Основное требование, например, для крепежной резьбы заключается в том, чтобы было обеспечено свинчивание между болтом и гайкой — в этом их основное служебное назначение. Поэтому и представляется возможным изменять средний диаметр у болта или гайки и добиваться свинчивания при ошибках шага и профиля, при этом контакт резьбы будет, но не по всей поверхности. По некоторым профилям (при ошибке шага) или на отдельных участках профиля (при ошибках профиля) в результате компенсации этих ошибок изменением среднего диаметра будет зазор в нескольких местах сопряжения. Часто в контакте по резьбовым элементам участвуют всего 2—3 витка.

Компенсация ошибок шага δP . Погрешность шага у резьбы, обычно, бывает двух видов — местная погрешность, часто называемая "внутришаговой", и прогрессирующая погрешность, иногда называемая "растяжкой" шага. Компенсация погрешности осуществляется в отношении прогрессирующей погрешности.

На рис. 5.5, а два осевых сечения болта и гайки наложены друг на друга. У этих резьбовых элементов на длине свинчивания не равны значения шагов, а следовательно, не может произойти свинчивание, хотя значение среднего диаметра у них одинаково. Для того чтобы обеспечить свинчивание, необходимо удалить часть материала (на рисунке заштрихованные участки), т.е. увеличить средний диаметр у гайки или уменьшить средний диаметр у болта (рис. 5.5, а). После этого свинчивание произойдет, хотя контакт будет происходить только на крайних профилях (рис. 5.5, б).

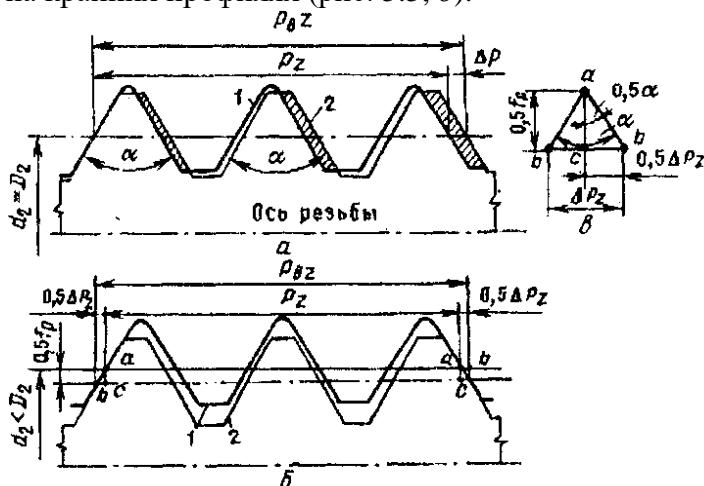


Рис. 5.5. Схема диаметральной компенсации погрешности шага резьбы

Значение, на которое необходимо дополнительно обработать болт или гайку по среднему диаметру, можно рассчитать по формуле (рис. 5.5, в)

$$f_p = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \delta P = 1,732 \delta P,$$

где P — погрешность шага;

f_p — диаметральная компенсация погрешности шага.

(На рис. 5.5 показано $0,5f_p$, поскольку изображена одна половина резьбового элемента.)

Таким образом, если имеется погрешность шага в 10 мкм, то для компенсации ее следует уменьшить средний диаметр у болта или увеличить средний диаметр у гайки на 17.32 мкм и тогда произойдет компенсация ошибок шага и будет свинчивание резьбовых элементов деталей.

Компенсация погрешности угла профиля $\delta\alpha/2$. Погрешность угла профиля или угла наклона возникает, обычно, от погрешности профиля режущего инструмента или погрешности его установки на станке относительно оси заготовки. Компенсация погрешности профиля производится также изменением значения среднего диаметра, т.е. увеличением среднего диаметра у гайки или уменьшением у болта.

На рис. 5.6, а изображены совмещенные профили болта и гайки, при которых свинчивание не может произойти из-за разности углов.

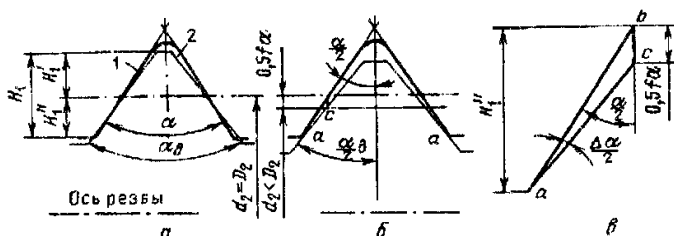


Рис. 5.6. Схема диаметральной компенсации погрешности угла профиля резьбы

Если удалить часть материала, которыми профили перекрывают друг друга (увеличить средний диаметр гайки или уменьшить средний диаметр болта), то свинчивание произойдет, но контакт будет происходить на ограниченном участке боковой стороны профиля (рис. 5.6, б). Но этого контакта достаточно для того, чтобы произошло свинчивание, т.е. скрепление двух деталей.

Значение, на которое необходимо изменить размер среднего диаметра для метрической резьбы, может быть рассчитано (рис. 5.6, в) по формуле

$$f\alpha = 0,36P \delta\alpha/2.$$

Таким образом, требование к точности резьбы в отношении среднего диаметра нормируется суммарным допуском, который ограничивает как приведенный средний диаметр (диаметр идеальной резьбы, обеспечивающей свинчивание), так и средний диаметр резьбы (собственно средний диаметр). В стандарте только упоминается, что допуск на средний диаметр является суммарным, но нет расшифровки этого понятия. В отношении этого допуска можно дать следующие дополнительные толкования.

1. Для внутренней резьбы (гайки) приведенный средний диаметр не должен быть меньше, чем размер, соответствующий пределу максимума материала (часто говорят — проходному пределу), а наибольший средний диаметр (собственно средний диаметр) не должен быть больше предела минимума материала (часто говорят — непроходной предел).

Значение приведенного среднего диаметра для внутренней резьбы определяется по формуле

$$D_{2np} = D_{2действ.} - (fp + fa)$$

где $D_{2действ.}$ — действительное (измеренное) значение собственно среднего диаметра.

2. Для наружной резьбы (болта) приведенный средний диаметр не должен быть больше предела максимума материала по среднему диаметру, а наименьший собственно средний диаметр в любом месте должен быть меньше, чем предел минимума материала.

Значение приведенного среднего диаметра для наружной резьбы определяется по формуле

$$d_{2np} = d_{2действ.} + fp + fa$$

В принципе, понятие идеальной резьбы, соприкасающейся с реальной, можно представить себе по аналогии с понятием о прилегающей поверхности и, в частности, прилегающего цилиндра, которые рассматривались при нормировании точности отклонений формы. Идеальную резьбу в исходном положении можно представить себе соосной реальной резьбе, но для болта значительно больше по диаметру. Если теперь идеальная резьба будет постепенно сжиматься (уменьшаться средний

диаметр) до плотного соприкосновения с реальной резьбой, тогда средний диаметр идеальной резьбы и будет приведенным средним диаметром реальной резьбы.

Допуск, который дается в стандарте на средний диаметр болта (Td_2) и гайки (TD_2), фактически включает в себя допуск на собственно средний диаметр ($T'd_2$), ($T'D_2$) и значение возможной компенсации fp и fa , т.е.

$$Td_2(TD_2) = T'd_2(T'D_2) + fp + fa.$$

Надо отметить, что при нормировании этого параметра имеется определенная неточность в терминологии и обозначении, поскольку указывает и обозначается допуск на средний диаметр (Td_2 и TD_2), а надо понимать, что этот допуск должен учитывать допускаемый отклонения шага и профиля.

Возможно, что в дальнейшем этот комплексный допуск получит другое обозначение, а может быть новое название, что позволит отличать этот допуск от допуска на средний диаметр.

При изготовлении резьбы технологу представляется возможность суммарный допуск распределить между тремя параметрами резьбы — средним диаметром, шагом, углом профиля. Часто допуск делят на три части, но при наличии запаса по точности у станков можно задать меньшие допуски на шаг и большие на угол и средний диаметр и т.д.

Измерить непосредственно приведенный средний диаметр нельзя, поскольку, как диаметр, т.е. расстояние между двумя точками, он не существует, а представляет собой как бы условный, действующий диаметр сопряженных резьбовых поверхностей. Поэтому для определения значения приведенного среднего диаметра резьбы необходимо измерить отдельно средний диаметр, измерить отдельно шаг и половину угла профиля, по погрешностям этих элементов рассчитать диаметральные компенсации и потом расчетом определить значение приведенного среднего диаметра резьбы. Вот значение этого среднего диаметра и должно находиться в пределах допуска, установленного в стандарте.

5.1.5. Поля допусков для нормирования точности элементов метрической резьбы

Принципиальный подход к нормированию точности элементов резьбы и образованию сопряжений аналогичен нормированию требований к точности гладких элементов деталей, т.е. нормируются основные отклонения — отклонения, ближайшие к номинальному размеру, и ряды точности — допуски. Посадки, как и для гладких элементов деталей, образуются сочетанием полей допусков для болта и для гайки.

Для резьбовых соединений основные отклонения обозначаются такими же буквами, как и для гладких элементов деталей (прописные латинские буквы для отверстий – гайки и строчные для валов-болтов), хотя значения этих отклонений, обозначенных одной буквой, не совпадают для резьбовых и гладких деталей одного параметра. Ряды точности получили название степени точности (в гладких — квалитеты). Разные термины для рядов точности приняты, в частности, для того, чтобы не путать гладкие и резьбовые элементы детали.

1. Основные отклонения нормируются для резьбы в значительно меньшем количестве, чем для гладких элементов. На рис. 5.6 было показано расположение допусков при образовании посадки скольжения. Там же приведены основные отклонения для образования посадок с большими зазорами, которые используются, в основном, при получении заготовок резьбы для нанесения защитных покрытий и получения после этого посадки скольжения. В этом случае для наружной резьбы (болта) задается верхнее отклонение, а для гайки — нижнее.

Следует обратить внимание на то, что основное отклонение задается и на внутренний диаметр болта и на наружный диаметр гайки, хотя, точность этих элементов резьбы не нормируется. Эти основные отклонения нормируются для резьбообразующего инструмента, например, для метчиков, которые тоже можно рассматривать как одну из разновидностей резьбовых элементов.

Основные отклонения, обычно, принимаются одинаковыми для нормируемых элементов, т.е. у болта для среднего и наружного диаметров, а у гайки для среднего и внутреннего диаметров. Но можно принимать разные поля допусков для нормируемых параметров.

2. Ряды точности — степени точности (допуски) нормируются в значительно меньшем объеме, чем для гладких элементов, а на практике применяются еще меньше.

Для наружного диаметра наружной резьбы (болта) d нормируются 4-я, 6-я и 8-я степени, а для приведенного среднего диаметра d_2 — с 3-й по 10-ю степени.

Для внутреннего диаметра внутренней резьбы (гайки) D_1 нормируются с 4-й по 8-ю степени, а для приведенного среднего диаметра D_2 — с 4-й по 9-ю степени.

3. Длина свинчивания. Стандартом устанавливается три группы длин свинчивания, которые обозначаются прописными латинскими буквами и имеют следующие наименования: N — нормальная, S — короткая и L — длинная.

4. Поля допусков резьбовых элементов образуются сочетанием поля допуска на средний диаметр с полем допуска диаметра выступов. Обратите внимание на новый термин "диаметр выступов". Так условно одним термином названы одновременно наружный диаметр болта и внутренний диаметр гайки, т.е. диаметры цилиндров с прерывистыми поверхностями (выступами), которые относительно легко доступны для измерения приборами с двухточечной схемой. При сочетании указанных выше степеней точности и основных отклонений образуются поля допусков.

Обозначения поля допуска на резьбовой элемент детали состоит из обозначения поля допуска для среднего диаметра (он нормируется для болта и гайки), помещаем на первом месте, и обозначения поля допуска диаметра выступов (т.е. для наружного диаметра болта или внутреннего диаметра гайки).

Отличие в обозначении полей допусков для резьбовых элементов деталей от обозначения полей допусков для гладких элементов, заключается в том, что для резьбовых элементов

сначала указывается степень точности, т.е. цифра соответствующей степени точности (характеризует допуск), а потом основное отклонение — буква (характеризует положение поля допуска относительно номинального размера). Например, $6g5g$: $6g$ - поле допуска на приведенный средний диаметр болта (d_2), $5g$ - поле допуска на наружный диаметр болта (d); $7H6H$: $7H$ - поле допуска на приведенный средний диаметр гайки (D_2), $6H$ -поле допуска на внутренний диаметр гайки (D_1).

Поскольку в большинстве случаев принимают одинаковыми поле допуска для среднего диаметра и диаметра выступов, то это поле допуска указывается один раз. Например, $6g$ означает, что поле допуска одинаковое на приведенный средний и наружный диаметры болта; $7H$ означает, что взяты одинаковые поля допуска на приведенный средний и внутренний диаметры гайки.

В принципе, возможно сочетание любых основных отклонений со всеми степенями точности, а также разных полей допусков для диаметров и для приведенных средних диаметров. Но таких сочетаний оказывается очень много и для практического применения их столько не нужно. Поэтому в стандарте специально введен набор определенных сочетаний.

Ограниченный отбор полей допусков произведен из всей совокупности полей допусков, которые могут быть получены различными сочетаниями степеней точности и основных отклонений. В табл. 5.1 приведены поля допусков, которые можно применять без ограничений. Помимо приведенных в таблице нормируются еще семь полей допусков для наружной резьбы и четыре для внутренней, применение которых следует, по возможности, ограничивать.

Поля допусков, не указанные в табл. 5.1, в принципе, тоже можно применять, но они уже являются специальными и их использование может быть допущено только в технически и экономически обоснованных случаях, когда применение полей допусков, приведенных в табл. 5.1, не может обеспечить требований, предъявляемых к изделию.

Таблица 5.1

| Классы точности | Наружная резьба | Внутренняя резьба |
|-----------------|--------------------------------|-------------------|
| Точный | 4g; 4h | 4H; 4H5H; 5H |
| Средний | 5g6g; 6d; 6e; 6f; [6g]; 7g; 6g | 6G; 6H; 7H |
| Грубый | 8g | 7G; 7H; 8H |

Отобранные поля допусков нормируются для определенных длин свинчивания, а в табл. 5.1 дан только набор этих полей допусков.

Приведенный ограничительный набор полей допусков указан для определенных классов. Однако эти классы, строго говоря, не являются рядами точности и не связаны с изменением допусков при переходе из одного класса точности в другой. В этом случае термин "класс"— условное понятие и приведено в стандарте для облегчения выбора поля допуска, т.е. для приблизительной ориентации разработчика.

Рекомендуется, при нормировании резных полей допусков для среднего диаметра и диаметра выступов принимать их из одного класса.

В табл. 5.1 рамкой выделены два поля допуска 6g и 6H для того, чтобы указать, что эти поля допусков являются предпочтительными для применения. Иногда резьбы с такими полями допусков называют "торговый крепеж" и наиболее часто используются для крепежа.

5.1.6. Соединения (посадки) резьбовых элементов деталей

Резьбовое соединение — это характер резьбового соединения элементов детали, определяемый разностью приведенных средних диаметров наружной и внутренней резьб до сборки.

Аналогично гладким соединениям (посадкам) в стандарте непосредственно они не нормируются. Для образования посадок необходимо использовать нормируемые поля допусков.

Опять же, в принципе, допускается использовать любое сочетание полей допусков для наружной и внутренней резьб, но предпочтение должно отдаваться сочетанию полей допусков, указанных в табл. 5.1, для одного класса точности.

Обозначение резьбовых элементов должно сочетать в себе следующую информацию, характеризующую резьбу а), б), в), г), и требования к точности нормируемых параметров для этой резьбы:

- а) указание о виде резьбы (M — метрическая);
- б) значение номинального диаметра, т.е. наружного диаметра (d , D), (одинаковое для болта и для гайки, образующих соединение);
- в) значение шага, если он мелкий (крупный шаг не указывается);
- г) специально указывается LH , если резьба левая;
- д) поле допуска на приведенный средний диаметр (d_2 или D_2);
- е) поле допуска на диаметр выступов, т.е. поле допуска на наружный диаметр болта (d) или внутренний диаметр гайки (D_1);
- ж) значение длины свинчивания (l), если она не нормальная.

Примеры полного обозначения резьбового элемента:

для наружной резьбы — болта: $M20 \times 0,75 LH - 7g \ 6g-15$;

для внутренней резьбы — гайки: $M20 \times 0,75 LH - 4H5H-10$.

Приведенные обозначения расшифровываются следующим образом: резьба метрическая с номинальным, т.е. наружным диаметром 20 мм, с мелким шагом (если бы он крупный шаг, т.е. 2.5 мм, то его не надо указывать), резьба левая, поле допуска на приведенные средний диаметр болта 7g (седьмая степень точности и основное отклонение g), поле допуска на наружный диаметр болта 6g. Для гайки точность к параметрам нормируется полем допуска 4H на приведенный средний диаметр и полем допуска 5H на внутренний диаметр. У обоих резьбовых элементов длина свинчивания не нормальная и у болта она равна 15 мм, а у гайки 10 мм. Практически, невоз-

можно встретить такое полное обозначение, хотя, в принципе, оно может быть в соответствии с принципом нормирования.

Самое короткое обозначение резьбового элемента, которое чаще всего используется, может быть, в следующем виде:

для наружной резьбы: $M40 - 6g$,
для внутренней резьбы: $M40 - 6H$,

Расшифровывается это обозначение следующим образом: резьба метрическая с номинальным (наружным) диаметром 40 мм, резьба правая, шаг крупный. Для болта поле допуска на приведенный средний диаметр и на наружный диаметр одинаковое, т.е. $6g$ (шестая степень точности и основное отклонение g). Для гайки поле допуска на приведенный средний диаметр и на внутренний диаметр одинаковое — $6H$. И у болта, и у гайки длина свинчивания нормальная (N).

Обозначение резьбовых соединений состоит, как и при обозначении резьбовых элементов, из данных о резьбе и точности ее параметров. Данные о резьбе указывают так же, как и для резьбовых элементов, т.е. указание о метрической резьбе, о значении шага, правая или левая резьба, а также сведения о длине свинчивания.

Данные о точности резьбового сопряжения указываются аналогично обозначению посадок гладких элементов с особенностями обозначения точности резьбового элемента. Как и для гладких элементов, при обозначении точности резьбового соединения в числителе указывается элемент с внутренней сопрягаемой поверхностью, т.е. точность внутренней резьбы — гайки, а в знаменателе указываются требования к точности сопрягаемого элемента с наружной поверхностью, т.е. точность наружной резьбовой поверхности - болта.

Пример полного обозначения резьбового сопряжения:

$M20 \times 0,75LH - 4H5H/7g6g - 15$.

Самое короткое обозначение: $M20 - 7H/6g$.

Ну, а расшифровка обозначений резьбового сопряжения складывается из расшифровки обозначений отдельных резьбовых элементов, она была приведена раньше.

В заключение необходимо обратить внимание на особенность понимания обозначений резьбового соединения, когда на резьбовые элементы болта и гайки принимаются разные поля допусков для приведенного среднего диаметра и для диаметра выступов. Надо понимать, что посадка (сопряжение) резьбовых элементов осуществляется из сочетания размеров приведенного среднего диаметра, а поля допусков для диаметров выступов, т.е. на наружный диаметр болта и на внутренний диаметр гайки даны в виде дополнительной информации, и эти элементы в сопряжении не участвуют.

Так, например, в резьбовом сопряжении M20 – 6H7H/6g7g непосредственно в сопряжении участвуют поля допусков 6H/6g, а поля допусков 7H/7g, в принципе, не могут образовать посадку и характеризуют точность несопрягаемых элементов.

5.2. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач

Зубчатое колесо представляет собой деталь сложной геометрической формы в виде диска с зубьями на цилиндрической или конической поверхности, входящими в зацепление с зубьями другого зубчатого колеса.

Зубчатыми передачами называются механизмы, состоящие из зубчатых колес, которые сцепляются между собой и передают вращательное движение, обычно, преобразуя угловые скорости и крутящие моменты.

Наибольшее распространение имеют цилиндрические зубчатые колеса и передачи, т.е. передачи с параллельными осями. Поэтому в этой теме мы будем рассматривать только эти колеса и передачи, хотя принцип нормирования точности всех видов зубчатых передач и многие значения допусков и отклонений одинаковы для одинаковых размеров и равной точности и часто используются одни и те же приборы для измерения.

5.2.1. Принцип нормирования точности зубчатых колес и передач

Особая трудность в отношении нормирования точностных требований к зубчатым передачам заключается в том, что эти детали являются сложными по своей геометрической форме, а кроме того, они являются элементами кинематической цепи. Поэтому и необходимо учитывать при нормировании, что их основное служебное назначение — передача движения с одного вала на другой при необычной геометрической форме.

Требования к характеристикам передаваемого движения оказываются не одинаковыми для всего многообразия зубчатых передач. Так, для передач в счетно-решающих машинах, в кинематических цепях металлорежущих станков основное требование к зубчатой передаче — это обеспечение точности углов поворота за полный оборот колеса. Для зубчатых передач в автомобилях, редукторах станков одним из основных показателей является плавность работы, т.е. минимальный шум, а это происходит из-за точности вращения колеса за малые углы его поворота, т.е. из-за непостоянства передаточного отношения в пределах оборота.

Для зубчатых колес в подъемных машинах, лебедках не так важно, какова будет точность угла поворота в пределах оборота или на малых углах поворота, как важно, чтобы сопригаемые зубья касались при зацеплении как можно больше своей поверхностью, т.е. обеспечивали хороший контакт рабочих поверхностей.

Специфические требования возникают к зубчатым передачам, работающим в условиях высоких температур, а также к так называемым реверсивным передачам, направление вращения которых регулярно переключается. Для таких передач очень важным является требование к боковому зазору, так как подавляющее большинство зубчатых колес работают по одной стороне профиля, а по другой стороне, т.е. по нерабочим поверхностям зубьев, должен обеспечиваться (гарантированный) зазор, так называемый боковой зазор.

Таким образом, в зависимости от области применения зубчатых передач к ним могут быть предъявлены различные требования (критерии) в отношении точности: требования в отношении точности за один поворот, в пределах одного оборота, или требования постоянства точности контакта по сопрягаемым поверхностям, или требования к обеспечению необходимого бокового зазора.

Используются диаметры применяемых колес размером от нескольких миллиметров до 5-6 метров. Работают они со скоростью от одного оборота за несколько часов, до скорости, превышающей 100 м/с, к тому же должны работать без больших вибраций и шума. Обрабатываются зубчатые колеса различными способами, а следовательно, возможны разные виды погрешности при разных методах обработки.

Все эти особенности необходимо было учесть при нормировании требований к точности. Поэтому должно быть ясно, с какими трудностями приходится сталкиваться не только при разработке, но и при использовании норм точности на зубчатые колеса и передачи. В нормах точности учитываются и все размеры зубчатых колес, и разные области их применения, а также возможности измерений.

Исходя из необходимости правильного нормирования требований к точности зубчатых колес для обеспечения разнообразных эксплуатационных требований в нормативных документах по точности колес и передач установлены (нормируются) четыре группы почти независимых требований, которые названы нормами точности.

Нормы точности на зубчатые колеса и передачи представляют собой набор требований к точности геометрических и кинематических параметров зубчатых колес и передач для оценки этой точности в отношении определенного эксплуатационного признака.

Называются эти нормы:

- 1) нормы кинематической точности,
- 2) нормы плавности работы,
- 3) нормы контакта зубьев,

4) нормы бокового зазора.

В нормах кинематической точности нормируются требования к точности таких геометрических и кинематических параметров колеса и передачи, погрешность которых влияет на погрешность передаточного отношения за полный оборот колеса, т.е. характеризует погрешность в угле поворота за один его оборот по сравнению с тем, если бы вместо него находилось абсолютно точное колесо.

Это требование особенно важно для зубчатых колес в передачах с точным передаточным отношением, например, в кинематических цепях станков, в делительных механизмах и т.д.

В нормах плавности работы нормируются требования к точности таких геометрических и кинематических параметров колеса и передач, погрешность которых также влияет на кинематическую точность, но эта погрешность проявляется многократно за один оборот колеса, т.е. один или несколько раз на каждом зубе. Эти требования имеют наибольшее значение для передач, работающих на больших скоростях, поскольку такие погрешности являются источником ударов, приводящих к появлению шума и вибраций.

В нормах контакта нормируются требования к таким геометрическим и кинематическим параметрам колес и передач, погрешность которых влияет на поверхность касания при вращении зубьев сопрягаемых колес.

Требования к контакту поверхностей имеют особо важное значение для передач, передающих большие нагрузки.

В нормах бокового зазора нормируются требования к таким параметрам колес и передач, которые влияют на зазор по нерабочим профилям при соприкосновении по рабочим профилям.

Эти нормы важны для передач, работающих в тяжелых температурных условиях, при большой загрязненности, для реверсивных передач.

5.2.2. Степени и нормы точности, виды сопряжений

Если внимательно прочесть приведенные определения в отношении норм точности, то можно заметить, что первые три группы норм (кинематической точности, плавности работы и полноты контакта) относятся к характеристике процесса вращения, а четвертая норма (боковой зазор) не характеризует точности вращения колес и передач, поскольку нормируются требования к нерабочим профилям.

Поэтому при нормировании точности зубчатых колес принято давать единые ряды точности для первых трех норм точности, т.е. характеризующим процесс зацепления, но на разные параметры. Эти ряды точности названы степенями точности (термин "степень точности" идентичен "классу точности", "качеству" — все они обозначают ряды точности).

"Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски" нормируется 12 степеней точности для эвольвентных зубчатых колес и передач с диаметром колес до 6300 мм, модулем от 1 до 55 мм. Чем меньше номер степени точности, тем точнее колесо или передача (меньше допуски).

Оригинальным в этом стандарте и в ранее существовавших государственных стандартах является то, что хотя и говорится о 12 рядах точности, но числовые значения даются для степеней точности от 3 до 12, а степени точности 1—2 оставлены для будущего развития, чтобы не вводить, как это мы видели в других стандартах, ряды точности с обозначением "0", "01" или "00" и т.д.

Практически невозможно найти колесо, чтобы от него требовался одинаковый уровень точности и в отношении точности вращения за полный оборот, и в отношении точности вращения за доли оборота (плавность), и в отношении контакта. Обычно одно из этих требований является доминирующим. Поэтому при нормировании допускается (и этим необходимо, как правило, пользоваться) так называемое комбинирование разных степеней точности по нормам кинематической точности, плавности работы и контакта. Этим самым можно, напри-

мер, принять по нормам кинематической точности 7-ю степень, а по плавности работы более точную 6-ю степень для колеса и передачи, у которых должна быть обеспечена плавность работы.

Таким образом, если в ранее рассмотренных соединениях, как правило, для детали устанавливалось точностное требование единого уровня, то для зубчатых колес, в принципе, может быть установлено четыре уровня точности (частично с этим мы имели дело в резьбовом соединении, когда поле допуска на средний диаметр могло отличаться от поля допуска на поверхность выступов, которая не участвует в сопряжении). При комбинировании степеней из разных норм существуют определенные ограничения из-за невозможности практического изготовления колес и передач при большой разнице в степенях точности по разным нормам, т.е. разным эксплуатационным показателям.

Зубчатая передача может быть очень точной по указанным выше степеням точности, т.е. по параметрам зацепления, но очень грубой (с большими допускаемыми отклонениями) в отношении бокового зазора. Таким образом, нормы на боковой зазор не должны быть связаны с точностью зацепления, хотя отдельные рекомендации и взаимосвязи этих норм с нормами плавности в стандарте даются, поскольку невозможно сделать грубую передачу с малым боковым зазором. На практике может возникнуть необходимость в самых разнообразных сочетаниях между точностью вращения (степень точности) и точностью по боковому зазору. Поэтому в стандарте дается набор показателей (ряды точности), относящиеся к боковому зазору; некоторые из них разрешается изменять, т.е. брать не по стандарту. Коротко говоря, нормируемая точность по боковому зазору носит рекомендательный характер.

Основным показателем бокового зазора в стандартах указывается гарантированный боковой зазор — это наименьший зазор, который получается при выполнении требований к колесу пары, которые нормируют в стандарте ($j_{n \min}$). Этот показатель может нормироваться для передач с регулируемым

межосевым расстоянием. При проектировании передач гарантированный зазор является исходным значением для выбора требований к параметрам колеса и передачи, определяющим этот зазор. Поскольку этих параметров существует несколько и нормы на них не могут быть одинаковыми, то в стандарте нормируется ряд, состоящий из шести групп точности, которым дано название виды сопряжений и введены условные обозначения: H, E, B, C, B, A (H — гарантированный зазор равен нулю, A — наибольший боковой зазор). Можно считать, что виды сопряжения — это первый ряд (основной) точности для нормирования наименьшего (гарантированного) бокового зазора.

В связи с тем, что на значение бокового зазора оказывает влияние межосевое расстояние передачи, а не только параметры колес, в стандарте установлены ряды точности, состоящие из шести классов отклонений межосевого расстояния, обозначенных римскими цифрами с I по VI в порядке убывания точности (это можно считать вторым рядом точностей по боковому зазору). Гарантированный боковой зазор обеспечивается при соблюдении для сопряжений H и E класса II по межосевому расстоянию, а для сопряжений D, C, B и A классов III, IV, V и VI соответственно. Стандарт разрешает изменять указанные соответствия, т.е. ряды являются рекомендуемыми.

Приведенный принцип нормирования направлен на обеспечение гарантированного (наименьшего) бокового зазора. Наибольшее предельное значение бокового зазора и его колебание в разных передачах одной точности стандарт непосредственно не нормирует, а ограничивает также условными видами допусков на боковой зазор, обозначенных буквами h, d, c, b, a, z, y, x в порядке возрастания допуска. Эти нормы являются третьим рядом точности нормирования бокового зазора.

Назвали мы их условными потому, что допуск на боковой зазор или наибольшее значение зазора непосредственно в стандартах не устанавливается, а виды допусков на боковой зазор так же как и виды сопряжений относятся к группе параметров колес, размеры которых влияют на значение зазора и

на которые установлены допуски. При этом в нормах, содержащих в рядах виды сопряжений и виды допусков, нормируются требования к одним и тем же параметрам колеса, для обеспечения требований в отношении минимального (гарантированного) зазора задается отклонение параметров от номинального значения (в "тело" колеса, т.е. в минус), а для ограничения максимального зазора и его колебания — допуск (в "тело" колеса) на этот же параметр. Более ясно это будет видно при рассмотрении этих параметров. Стандарт устанавливает, что видам сопряжений H и E должен соответствовать вид допуска h , а видам сопряжений D , C , B и A — виды допусков d , c , b и a соответственно. Однако это соответствие можно изменять и использовать виды допусков x , y , z , т.е. и эти ряды точности имеют рекомендательный характер.

Сказанное о двух группах норм точности бокового зазора условно изображено на рис. 5.7, а пояснения даны в подписи к рисунку.

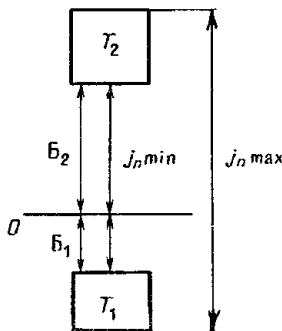


Рис. 5.7. Схема расположения отклонений и допусков, образующих боковой зазор:

B_1 и B_2 — отклонения параметров колеса и шестерни, образующих минимальный зазор $f_{n\min}$ (нормируется группа параметров по видам сопряжений A , B , C , E , H);

T_1 и T_2 — допуски на параметры колеса и шестерни, определяющие максимальный зазор $f_{n\max}$ (нормируются допуски группы параметров по видам допусков x , y , z , a , b , c , d , h)

5.2.3. Условные обозначения требований к точности зубчатых колес и передач

Если подвести итог сказанному, то можно считать, что точность колеса и передачи характеризуется (а следовательно, это должно найти отражение и в условном обозначении) степенью точности по трем эксплуатационным показателям вращения (кинематической точности, плавности работы и полноты контакта), видом сопряжения, видом допуска и классом межосевого расстояния — для указаний требований к необходимому боковому зазору. Более того, бывают случаи, когда надо указывать значение бокового зазора, если класс межосевого расстояния принят грубее, чем это рекомендовано стандартом, так как нормы на боковой зазор носят рекомендательный характер.

Некоторым неудобством является то, что обозначения передачи и колеса одинаковы, т.е. по внешнему виду нельзя понять, обозначена ли точность колеса или передачи.

Пример наиболее полного условного обозначения точности: 8-7-6-*Ca*/V-128. Оно означает, что задана 8-я степень в отношении кинематической точности, 7-я степень в отношении плавности работы, 6-я степень в отношении контакта. Боковой зазор при межосевом расстоянии, указанном на чертеже, должен быть не более 128 мкм, вид сопряжения зубчатых колес *C*, вид допуска на боковой зазор "а" и класс отклонений межосевого расстояния V (а рекомендуется по стандарту IV класс, поэтому и указано значение бокового зазора).

Пример самого краткого обозначения: 8-*C*. Оно означает, что передача (колесо) имеет 8-ю степень точности по всем трем нормам, характеризующим точность вращения (т.е. по кинематической точности, плавности работы и полноте контакта), вид сопряжения *C* и используются рекомендуемые стандартом соответствия между видом сопряжения и видом допуска по боковому зазору, а также между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния (вид допуска "с", класс межосевого расстояния IV). Все другие обозначения

являются промежуточными между самым подробным и самым коротким.

Наиболее часто используются обозначения, содержащие отдельные степени точности, например 8-7-6-Вa.

Возможен случай, когда конструктору совершенно безразлична степень точности по какой-либо из норм точности по зацеплению, тогда вместо конкретного номера степени указывается буква *N*, например 8-*N*-6-В. Это означает, что конструктор не устанавливает требования к точности в отношении плавности работы. По приведенным требованиям можно предполагать, что это, видимо, относится к тихоходной высоконагруженной передаче, для которой важно обеспечение контакта (6-я степень) с тем, чтобы рабочие поверхности соприкасались на больших площадках. Однако это не означает, что плавность работы будет грубой, поскольку по характеру обработки зубчатых колес невозможно будет обеспечить 8-ю степень по нормам кинематической точности и 6-ю по полноте контакта при грубых показателях по плавности работы.

Прежде чем рассмотреть параметры, с помощью которых нормируется точность зубчатых колес и передач, надо обратить внимание на особенность набора этих нормируемых параметров. В каждой из норм точности дается набор параметров, значительно больший, чем это требуется для оценки нормируемых эксплуатационных свойств. Другими словами, в нормах точности нормируются требования к параметрам, которые дублируют друг друга по выявляемым свойствам. Поэтому при нормировании точности возникает необходимость выбора не только уровня точности (степени точности или значения бокового зазора), но и выбора параметров, с помощью которых выявляются определенные эксплуатационные свойства. Такой подход к нормированию точности связан с тем, что при разных способах изготовления колес разного размера, при разных условиях производства определенные эксплуатационные свойства могут быть выявлены измерением различных параметров.

5.2.4. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие кинематическую точность зубчатых колес и передач

Показатели кинематической точности и охватываемые степени точности приведены в табл. 5.2 (желательно запомнить обозначения и названия параметров).

В табл. 5.2 показано, что требования к кинематической точности можно нормировать одним из 10 вариантов, содержащих требования к одному или двум параметрам. Один параметр применяется для нормирования в тех случаях, когда он один полностью выявляет кинематическую точность (N 1, 2, 3, 10) или когда предъявляются требования к грубым колесам (N 8, 9), где погрешность выявляется доминирующим параметром. Во всех остальных случаях содержатся требования к двум параметрам, в сумме характеризующим кинематическую точность. Объясняется это тем, что кинематическая точность колеса обеспечивается точностью кинематической цепи станка и точностью установки заготовки колеса относительно оси зубообрабатывающего станка. Таким образом, параметры под N 1, 2, 3, 10 выявляют влияние погрешности станка и влияние погрешности установки на точность колеса, а там, где указано два параметра, то один параметр выявляет отдельно погрешность от станка (так называемая тангенциальная составляющая — кинематический эксцентриситет), а другой — погрешность от установки (так называемая радиальная составляющая — геометрический эксцентриситет).

В табл. 5.2 параметры F_{Cr} , $F_u W_r$ характеризуют тангенциальную составляющую, а параметры F_{rr} и F''_{ir} — радиальную. Необходимо запомнить, что в зависимости от степени точности принимаются нормы из табл. 5.2, т.е. один из 10 вариантов.

Таблица 5.2

| № п/п | Нормируемые показатели точности или комплекс показателей | Условные обозначения | Степень точности |
|-------|---|----------------------|--------------------------------|
| 1 | Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса | F_{ir} | 3...8 |
| 2 | Накопленная погрешность шага и накопленная погрешность "К" шагов зубчатого колеса | F_{Pr} и F_{Pkr} | 3...6 |
| 3 | Накопленная погрешность шага зубчатого колеса | F_{Pr} | 7...8 |
| 4 | Погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца | F_{Cr} и F_{rr} | 3...8 |
| 5 | Колебание длины общей нормали и радиальное биение зубчатого венца | $F_u W_r$ и F_{rr} | 3...8 |
| 6 | Колебание длины общей нормали и колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса | $F_u W_r$ и F_{ir} | 5...8 |
| 7 | Погрешность обката и колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса | F_{Cr} и F_{ir} | 5...7 |
| 8 | Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса | F_{ir} | 10...12 |
| 9 | Радиальное биение зубчатого венца | F_{rr} | 8...12 Колеса св. 1600мм |
| 10 | Наибольшая кинематическая погрешность передачи | F'_{ior} | 3...8 |

Коротко рассмотрим параметры, нормируемые для выявления кинематической точности:

а) Кинематической погрешностью колеса (F'_{ir}) называется разность между действительным (измеренным) и номинальным (расчетным) углами поворота зубчатого колеса на его рабочей оси, ведомого точным (измерительным) зубчатым колесом, при номинальном взаимном положении осей вращения

этих колес. Выражается эта погрешность в линейных величинах длиной дуги делительной окружности (рис. 5.8).

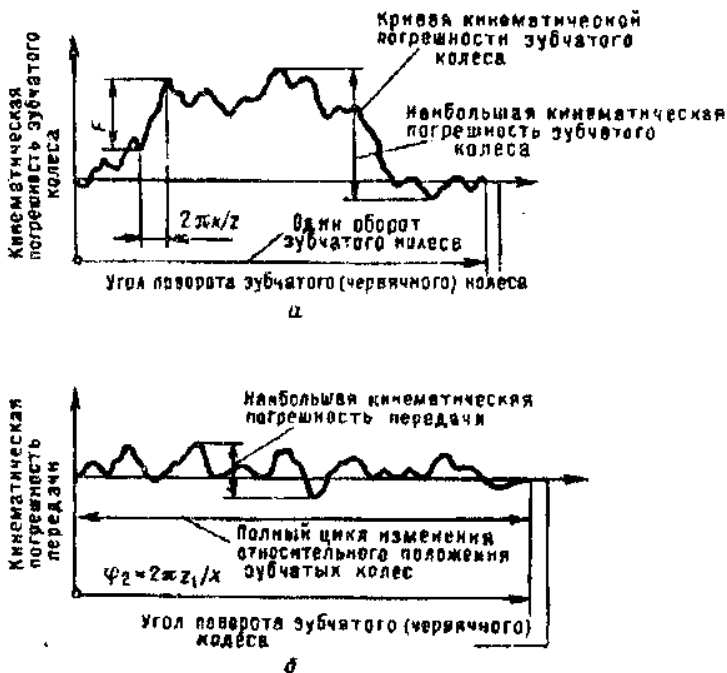


Рис. 5.8. Кинематическая погрешность колеса (а) и передачи (б)

б) Кинематической погрешностью передачи (F_{ior}) называется разность между действительным (измеренным) и номинальным (расчетным) углами поворота ведомого зубчатого колеса передачи. Выражается в линейных величинах длиной дуги его делительной окружности.

в) Накопленной погрешностью K шагов N (F_{pkr}) (раньше этот параметр назывался окружным шагом) называется наибольшая разность дискретных значений кинематической погрешности зубчатого колеса при номинальном повороте на K целых угловых шагов (рис. 5.9).

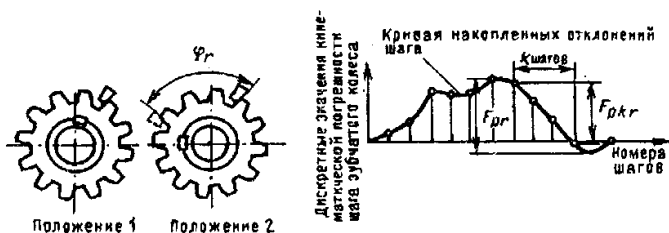


Рис. 5.9. Накопленная погрешность шага

г) Накопленной погрешностью шага зубчатого колеса (F_{gr}) называется наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей в пределах зубчатого колеса.

Таким образом, в принципе этот параметр должен характеризовать кинематическую погрешность колеса, но при измерениях определяется положением точек профилей зубьев, находящихся на окружности, проходящей где-то на середине каждого профиля зуба. Все измеряемые точки должны располагаться на одной окружности.

д) Погрешностью обката (F_{cr}) называется составляющая кинематической погрешности зубчатого колеса, определяемая при вращении его на технологической оси и при исключении циклических погрешностей зубцовой частоты и кратных ей более высоких частот. Под технологической осью зубчатого колеса понимается ось, вокруг которой оно вращается в процессе окончательной обработки зубьев по обеим их сторонам. Указанные в определении понятия "погрешность обката" условия измерений показывают, что практически этим параметром устанавливаются требования к кинематической погрешности зуборезного станка, на котором осуществляется окончательная обработка зубчатого венца. Поэтому погрешность обката может определяться как погрешность кинематической цепи деления зубообрабатывающего станка.

е) Колебание длины общей нормали ($F_u W_r$) называется разность между наибольшей и наименьшей действительными длинами общей нормали в одном и том же колесе. Под действительной длиной общей нормали понимается расстояние

между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным активным боковым поверхностям зубьев зубчатого колеса (рис. 5.10).

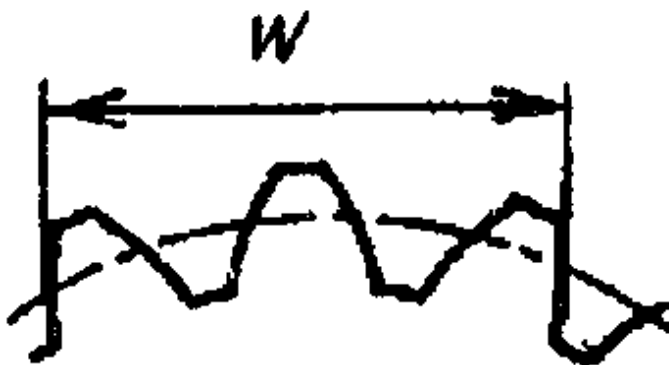


Рис. 5.10. Длина общей нормали

Крайние точки, которые относятся к длине общей нормали, характерны тем, что они получаются на колесе при разных угловых положениях колеса; поэтому, если расстояния между этими точками постоянны, то нет кинематической, нет погрешности станка, на котором нарезалось это колесо, т.е. проходило равномерное вращение при нарезании зубьев по всему колесу. Поэтому нормируется непостоянство (колебание) длины общей нормали.

ж) Колебанием измерительного межосевого расстояния за оборот колеса (F_{ir}) называется разность между наибольшим и наименьшим действительными (измеренными) межосевыми расстояниями при двухпрофильном зацеплении измерительного зубчатого колеса с проверяемым зубчатым колесом при повороте последнего на полный оборот (рис. 5.11.) (комплексная радиальная погрешность). Этот параметр часто называют комплексным двухпрофильным или просто двухпрофильным.



Рис. 5.11. Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот

з) Радиальным биением зубчатого венца ($F_{гр}$) называется разность действительных (измеренных) предельных положений исходного контура в пределах зубчатого колеса (от его рабочей оси) (рис. 5.12).

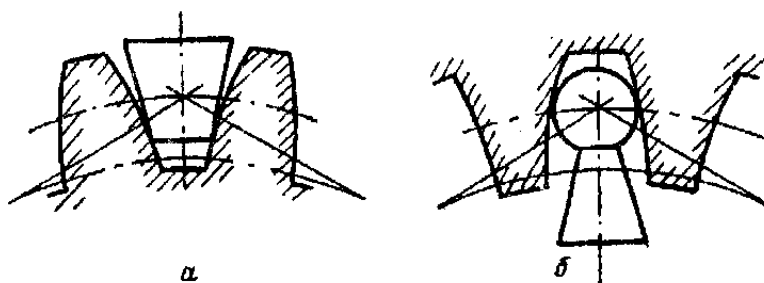


Рис. 5.12. Радиальное биение зубчатого венца

Этот параметр характеризует дискретные значения колебаний измерительного межосевого расстояния за оборот или, другими словами, дискретные значения радиальной составляющей кинематической погрешности колеса.

5.2.5. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие плавность работы

Показатели плавности работы и охватываемые степени точности приведены в табл. 5.3 (желательно запомнить только обозначения и названия параметров).

Особенность нормирования требований к точности в отношении плавности работы заключается в том, что даются отдельные требования для колес и передачи, которые в табл. 5.3 названы широкими косозубыми, и для колес прямозубых вместе с узкими косозубыми.

В стандарте эти термины не используются, но нормы задаются с учетом осевого перекрытия, что отражает существо работы колес. Дело в том, что настоящим косозубым колесом с проявлением всех его достоинств в работе является колесо, в котором есть осевое перекрытие, т.е. одновременно при зацеплении находится более одной пары зубьев в сечении осевой плоскостью. Если такого перекрытия нет, то колеса даже с косыми зубьями по нормам точности относятся к прямозубым.

Принципиальный подход при нормировании точности по плавности работы тот же, что и при нормировании кинематической точности, т.е. нормируются требования по одному параметру либо комплексу из двух параметров.

Таблица 5.3

| Колеса или передача | | № п/п | Нормируемые показатели точности или комплексы показателей | Условные обозначения | Степени точности |
|------------------------------|----------|-------|---|----------------------|------------------|
| Прямозубые и узкие косозубые | колеса | 1 | Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса | f_{it} | 3...6 |
| | | 2 | Циклическая погрешность зубцовой частоты колеса | f_{ztt} | 3...6 |
| | | 3 | Отклонение шага зацепления и погрешность профиля зуба | f_{pnt} и f_{pt} | 3...6 |
| | | 4 | Отклонение шага зацепления и отклонение шага | f_{pnt} и f_{pt} | 3...6 |
| | | 5 | Колесное измерительное межосевое расстояние на одном зубе | f_{de} | 5...8 |
| | передачи | 6 | Местная кинематическая погрешность передачи | f_{itc} | 3...8 |
| | | 7 | Циклическая погрешность зубцовой частоты в передаче | f_{zttc} | 3...8 |
| Любые колеса | | 8 | Колесное измерительное межосевое расстояние на одном зубе | f_{de} | 9...12 |
| | | 9 | Отклонение шага зацепления | f_{pnt} | 9...12 |
| | | 10 | Отклонение шага | f_{ptc} | 9...12 |
| Широкие косозубые | колеса | 11 | Циклическая погрешность зубчатого колеса | f_{ztt} | 3...8 |
| | | 12 | Отклонение шага | f_{ptc} | 3...8 |
| | передачи | 13 | Циклическая погрешность передачи | f_{zttc} | 3...8 |

Из приведенных в табл. 5.3 параметров колебание измерительного расстояния на одном зубе f_{ir} отличается от ранее рассмотренного, только выявлением этой погрешности ориентировочно на одном зубе.

Местная кинематическая погрешность колеса (f_{ir}) и передачи (f_{ior}) циклическая погрешность зубцовой частоты колеса (f_{zkr}) и передачи (f_{zkor}), циклическая погрешность колеса (f_{zkr}) и передачи (f_{zkor}) получаются по результатам измерения кинематической погрешности колеса или передачи,

а) Местной кинематической погрешностью колеса (f_{ir}) и передачи (f_{ior}) называется наибольшая разность между местными соседними экстремальными (минимальными и максимальными) значениями кинематической погрешности колес в пределах одного оборота (f_{ir} , рис. 5.13) или за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колес передач (f_{ior}) - Эти погрешности выявляются непосредственно по кривой записи погрешности.

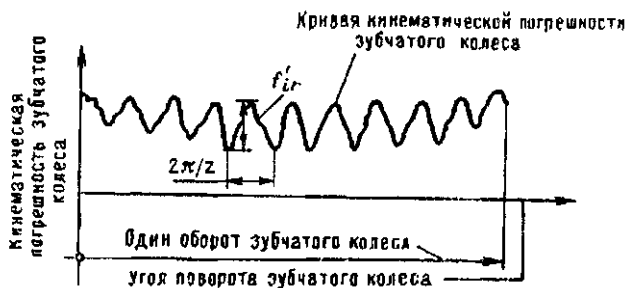


Рис. 5.13. Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса

б) Циклической погрешностью колес (f_{zkr}) и передачи (f_{zkor}) называется удвоенная амплитуда (размах) гармонической составляющей кинематической погрешности колеса или передачи (рис. 5.14).

в) Циклической погрешностью зубцовой частоты колеса (f_{zkr}) и передачи (f_{zkor}) называется циклическая погрешность с

частотой повторения, равной частоте входа зубьев в зацепление с измерительным зубчатым колесом (f_{zzr}) или при зацеплении в паре (f_{zzor}).

Все циклические погрешности выявляются по результатам гармонического анализа данных, полученных при измерении кинематической погрешности. Использование этих параметров на практике пока еще не распространено, но можно предположить, что в дальнейшем они получат распространение в связи с развитием и широким использованием электронных приборов и для анализа точности технологического процесса.

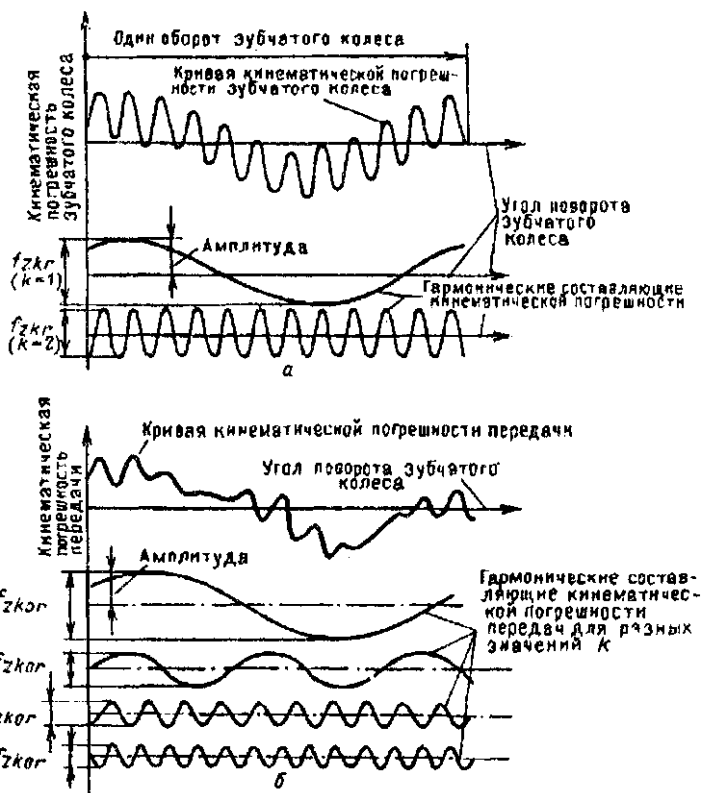


Рис. 5.14. Циклическая погрешность колеса (а) и передачи (б)

г) Отклонением шага зацепления (f_{pbr}) называется разность между действительным (измеренным) и номинальным шагами зацепления. Под действительным шагом зацепления понимается кратчайшее расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным активным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса (рис. 5.15). Раньше этот параметр назывался основным шагом.

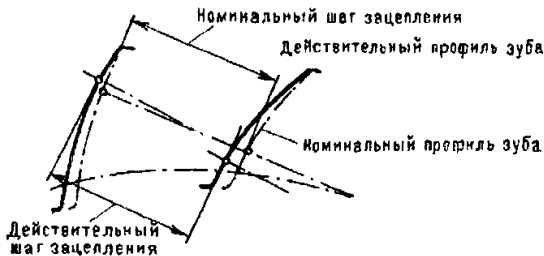


Рис. 5.15. Шаг зацепления

д) Отклонением шага зубчатого колеса ($f_{\text{пр}}$) (раньше этот параметр назывался окружным шагом) называется дискретное значение кинематической погрешности зубчатого колеса при повороте его на один номинальный угловой шаг. Однако, как и в случае накопленной погрешности шага, определяется положение рабочих поверхностей по положению одной точки на поверхности зуба. Вместо отклонения шага стандарт допускает нормировать разность шагов ($f_{\text{прtr}}$), т.е. разность между двумя отклонениями шагов в любых участках зубчатого колеса.

е) Профилем цилиндрических зубчатых колес называется линия пересечения действительной боковой поверхности зуба плоскостью, перпендикулярной его рабочей оси. Погрешностью профиля ($f_{\text{п}}$) (рис. 5.16) называется расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными торцевыми профилями зуба, между которыми размещается действительный (измеренный) торцевой активный профиль зуба зубчатого колеса.

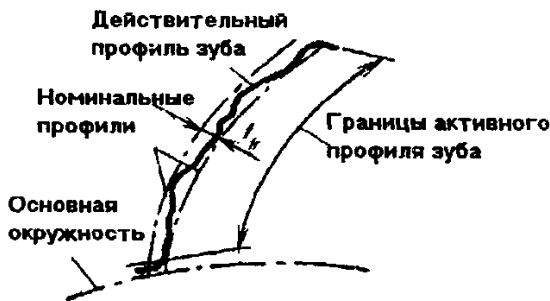


Рис. 5.16. Погрешность профиля зуба

В цилиндрических зубчатых колесах, в основном, используются эвольвентные поверхности для получения профиля.

5.2.6. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие полноту контакта

Показатели полноты контакта и охватываемые степени точности приведены в табл. 12 (желательно запомнить обозначения и названия параметров). В этих нормах, так же как и в нормах плавности различается нормирование точности для прямозубых (и узких косозубых колес) от нормирования точности широких косозубых колес.

Таблица 5.4

| Колесо или передача | № п/п | Нормируемые показатели точности или комплексы показателей | Условные обозначения | Степень точности |
|-------------------------------------|-------|---|---------------------------------|------------------|
| Прямозубые и узкие косозубые колеса | 1 | Погрешность направления зуба | $F_{\beta r}$ | 3...12 |
| | 2 | Суммарная погрешность контактной линии | $F_{\beta r}$ | 3...12 |
| Широкие косозубые колеса | 3 | Отклонение осевых шагов по нормали и суммарная погрешность контактной линии | $F_{\beta pl}$ и $F_{\beta kr}$ | 3...9 |
| | 4 | Отклонение осевых шагов по нормали и отклонение шага зацепления | $F_{\beta pl}$ и $f_{\beta r}$ | 3...9 |
| Передача | 5 | Отклонение от параллельности осей и перекос осей | $f_{\beta r}$ и $f_{\beta r}$ | 3...12 |
| | 6 | Суммарное пятно контакта | - | 3...11 |
| | 7 | Мгновенное пятно контакта | - | 3...11 |

Среди приведенных параметров есть f_{xz} и f_{yT} , которые относятся к положению осей колес в пространстве и, строго говоря, нормируют требования к корпусу передачи с нерегулируемым расположением осей.

Нормируемый параметр - отклонение шага зацепления f_{pbr} уже рассмотрен в нормах плавности для прямозубых и узких косозубых колес. В нормах контакта этот параметр нормируется для широких косозубых колес с целью выявления контакта зубьев по высоте.

а) Суммарным пятном контакта называется часть активной боковой поверхности зуба зубчатого колеса, на котором располагаются следы прилегания зубьев парного зубчатого колеса в собранной передаче после вращения под нагрузкой, устанавливаемой конструктором (рис. 5.17).

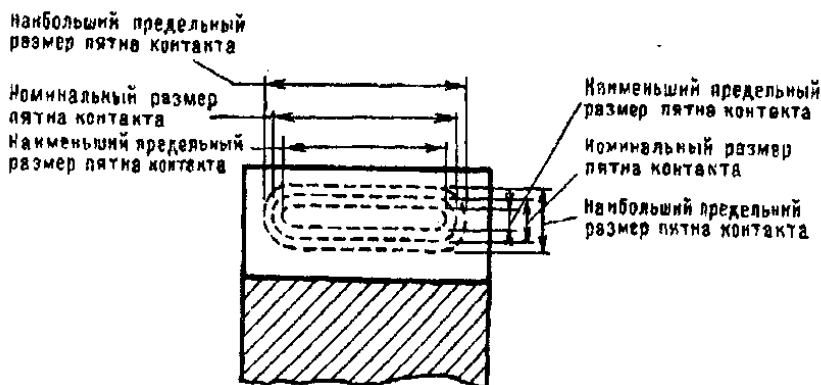


Рис. 5.17. Пятно контакта

б) Мгновенным пятном контакта называется часть активной боковой поверхности зуба большего зубчатого колеса передачи, на которой располагаются следы его прилегания к зубьям меньшего зубчатого колеса, покрытого красителем, после поворота большего зубчатого колеса собранной передачи на полный оборот при легком торможении, обеспечивающим непрерывное контактирование зубьев обоих зубчатых колес.

Как видно из определений, суммарное пятно выявляется в процессе приработки, (используют при изготовлении высокоточных и ответственных передач), а мгновенное пятно контакта относится к нормированию при измерений с использованием краски (способом, который указан в определении термина — мгновенное пятно контакта).

Стандартом предусматриваются возможности определения пятна контакта с измерительным колесом, что бывает необходимо при изготовлении запасных частей, но нормы не указываются.

В связи с тем, что метод измерения по пятну контакта в большей мере субъективен, стандартом разрешается конструктору указывать способ определения пятна контакта и место его расположения на поверхности зуба, при этом он может назначить собственные нормы.

Нормы на пятно контакта устанавливаются в процентах от длины и высоты зуба (рис. 5.17). На практике наиболее часто определяется мгновенное пятно контакта.

в) Погрешностью направления зуба ($F_{\beta r}$) называется расстояние между двумя ближайшими друг к другу номинальными делительными линиями зуба в торцевом сечении, между которыми размещается действительная делительная линия зуба, соответствующая рабочей ширине зубчатого колеса (рис. 5.18). Под действительной делительной линией зуба понимается линия пересечения действительной боковой поверхности зуба зубчатого колеса делительным цилиндром, т.е. ось которого совпадает с рабочей осью.

Погрешность направления зуба нормируется для прямозубых и узких косозубых колес, но возможности измерения при этом различны.

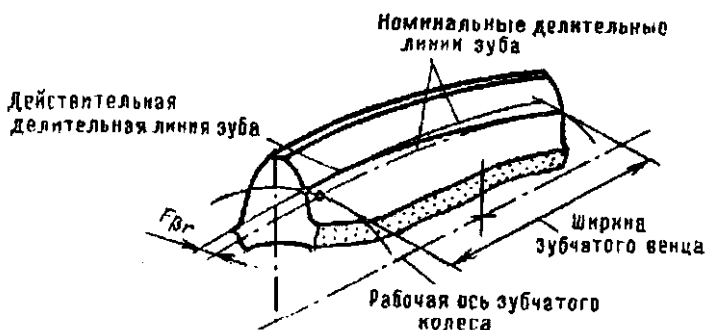


Рис. 5.18. Погрешность направления зуба

г) Суммарной погрешностью контактной линии (погрешность формы и расположения) (F_{kr}) называется расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными контактными линиями, условно наложенными на плоскость (поверхность) зацепления, между которыми размещается действительная контактная линия на активной боковой поверхности (рис. 5.19). Под потенциальной контактной линией понимается линия пересечения поверхности зуба плоскостью зацепления.

Эвольвентная поверхность является линейчатой поверхностью, т.е. состоящей из большого количества прямых линий.

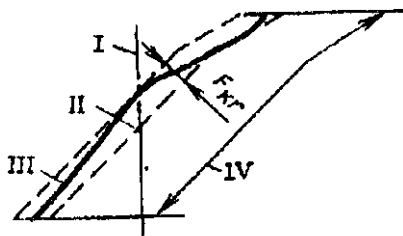


Рис. 5.19. Суммарная погрешность контактной линии:

- I — направление рабочей оси вращения колеса;
- II — номинальные контактные линии; III — действительная контактная линия; IV — граница активной поверхности зуба

В прямозубых колесах эти прямые должны располагаться параллельно оси цилиндра (колеса), а в косозубом колесе под углом к оси. Это и есть контактные линии.

При таких видах зубообработки как зубодолбление контактная линия полностью получается как след кромки режущего инструмента. При зубофрезеровании каждая контактная линия состоит из следов многих режущих кромок фрезы и образована участками от каждой режущей кромки.

Обеспечение необходимого бокового зазора в той мере, в которой это зависит от одного зубчатого колеса, связано с толщиной его зуба, если говорить о колесе как геометрической фигуре. Толщина же зуба зависит от положения режущего инструмента в виде рейки относительно оси колеса при изготовлении этого колеса. Чем ближе рейка к оси, тем тоньше получается зуб, чем дальше от оси, тем толще. Вот это относительное положение рейки и заготовки носит название смещение исходного контура.

Зубья колес нарезают, как правило, тоньше номинального значения, т.е. дается обязательное смещение исходного контакта к оси колеса от номинального положения (рис. 5.20), для обеспечения гарантированного бокового зазора. Это обязательное смещение носит название дополнительного смещения исходного контура ($E_{нт}$), которое может быть непосредственно измерено.

Дополнительное смещение исходного контура — это смещение от номинального положения в тело зубчатого колеса, осуществляемое для обеспечения в передаче гарантированного бокового зазора (рис. 5.20).

Но вместо этого показателя для обеспечения гарантированного (наименьшего) бокового зазора можно нормировать или отклонение средней длины общей нормали (E_{wmr}), или отклонение просто длины общей нормали (E_{wr}), или наименьшее отклонение толщины зуба (E_{cr}), или верхнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния ($+E_{a's}$). Для передач с нерегулируемым межосевым расстоянием еще нормируется отклонение межосевого расстояния ($+f_{ar}$).

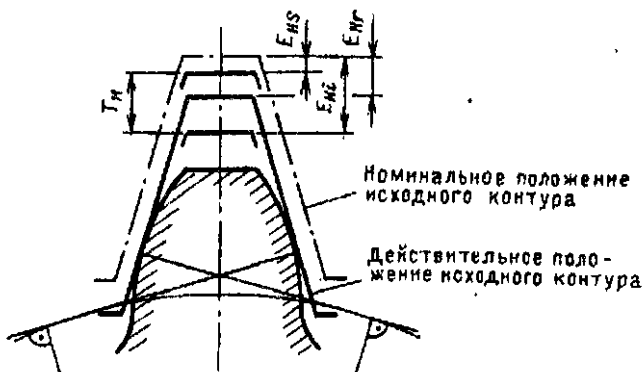


Рис. 5.20. Смещение исходного контура

Наименьшее дополнительное смещение исходного контура (или дублирующие его параметры) можно, в принципе, рассматривать как аналогичное основному отклонению в гладких и резьбовых сопряжениях (в данном случае это верхнее отклонение). Помимо основного отклонения в нормах бокового зазора даются допуски на смещение исходного контура (T_H), вместо которого можно использовать или допуск на среднюю длину общей нормали (T_{wm}), или допуск на длину общей нормали (T_w), или допуск на толщину зуба (T_c), или нижнее предельное отклонение межосевого расстояния ($-E_{ai}$).

Значения основных отклонений и допуски по нормируемым параметрам выбираются в зависимости от принятого вида сопряжений (A, B, ...) и вида допуска (a, b, c ...). В свою очередь основное отклонение выбирается по гарантированному зазору. Особенностью нормирования параметров, характеризующих боковой зазор, является то, что и основное отклонение, и допуски задаются в "тело" колеса, т.е. в сторону уменьшения толщины зуба с тем, чтобы обеспечить обязательность зазора между неработающими профилями (вспомните, что в системе допусков на гладкие сопряжения всегда давались верхние отклонения для полей допусков, располагаемых ниже нулевой линии).

5.3. Лабораторные работы

5.3.1. Лабораторная работа № 7 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБЫ

Цель работы: ознакомление со стандартами на метрические резьбы, с устройством инструментов и приборов, служащих для измерения отдельных элементов резьбы, приобретение навыков работы с инструментами и приборами. Ознакомление с методикой контроля.

Оборудование, приборы и инструменты: резьбовой микрометр с пределами измерений $0 + 25$ или $25 + 50$ с ценой деления шкалы барабана $0,01$ мм, штангенциркуль ШЦ-1, $0-125$, цена деления $0,1$ мм, резьбовые шаблоны, резьбовая деталь.

Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении (в большинстве современных машин свыше 60 % всех деталей имеют резьбы). По эксплуатационному назначению различают резьбы общего применения и специальные, предназначенные для соединения одного типа деталей определенного механизма.

Эксплуатационные требования к резьбам зависят от назначения резьбовых соединений. Общим для всех резьб являются требования долговечности и свинчиваемости без подгонки независимо изготовлению резьбовых деталей при сохранении эксплуатационных качеств соединений.

Точность резьбы можно контролировать дифференциальным (контроль каждого параметра в отдельности) и комплексным (контроль расположения контура резьбы в предписанном поле допуска) методами. Метод контроля каждого параметра резьбы в отдельности трудоемок, поэтому его применяют для точных резьб: ходовых винтов, резьбовых калибров, метчиков и т.п. Иногда по результатам контроля отдельных параметров судят (после вычислений) о комплексном параметре, например о приведенном среднем диаметре резьба. Комплексный контроль резьб выполняют либо с помощью предель-

ных калибров, либо с помощью проекторов и шаблонов с предельными контурами.

Средства измерений параметров резьбы

Резьбовые микрометры (рис. 5.21) предназначены для измерения среднего диаметра наружной резьбы. По конструкции отличаются от гладких микрометров наличием в неподвижной пятке 2 и конце микровинта 7 глухих отверстий, в которые устанавливаются специальные измерительные вставки 5 и 6.

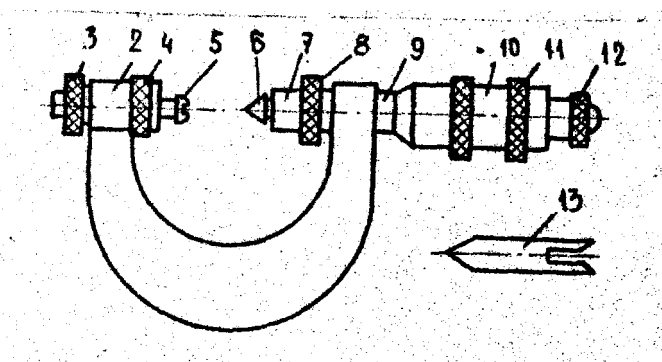


Рис. 5.21. Резьбовой микрометр

Призматическая вставка 5 устанавливается в неподвижную пятку 2, а коническая вставка 6 - в микровинт 7. Резьбовой микрометр снабжается набором вставок, которые подбираются в зависимости от шага резьбы. Интервал шагов, для которого предназначена вставка, наносится на ее цилиндрическую хвостовую часть. Для расширения диапазона регулирования неподвижная пятка 2 за счет контргайки 4 и гайки 3 может быть смещена в осевом направлении (рис. 5.22).

Перед тем, как начать измерения рекомендуется проверить нулевое положение микрометра. С этой целью необходимо привести вставки в соприкосновение и выставить нулевое положение барабана 10 с продольным штрихом стеблем 9. При этом начальный поперечный штрих (0,25 или 50) шкалы стеб-

ля с ценой деления 0,5 мм должен быть виден полностью, а кромка барабана должна отстоять от него на величину не более 0,1 мм.

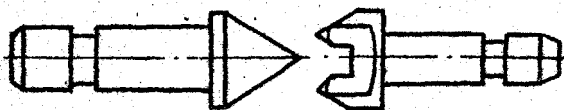


Рис. 5.22. Вставки к резьбовому микрометру

Регулировать резьбовой микрометр на измерение заданной резьбы необходимо в такой последовательности:

подобрать вставки, соответствующие шагу измеряемой резьбы, промыть их авиационным бензином и протереть мягкой тканью. Коническую вставку установись до упора в отверстие микровинта, призматическую - в отверстие пятки;

вращением винта совместить нулевой штрих барабана 10 с продольным штрихом стебля 9, а край барабана - с нулевым поперечным штрихом стебля и зафиксировать это положение стопором 8;

отпустить контргайку 4 регулируемой пятки, вращением гайки 3 переместить пятку до соприкосновения вставок 5 и 6, закрепить контргайку 4 и освободить стопор 8;

вращая микровинт за трещотку 12, развести вставки на 1-2 мм и плавно свести их до получения двух-трех щелчков трещотки. Если при этом показания прибора не уйдут за нуль, то вписать их в графу отчета "Нулевой отсчет";

если показания прибора уйдут за нуль (прибор зашкалит), то необходимо зафиксировать микровинт стопором 8, придерживая барабан 10, отвернуть на один-два оборота колпачок II, надавить на барабан 10 в осевом направлении, совместить продольный штрих стебля с нулевым штрихом барабана 10 и, не давая провернуться стеблю к барабану, завернуть колпачок II. После этого проверить показания прибора.

Микрометры с нижним пределом измерения 25 мм и более регулируют по установочной мере.

Для того, чтобы измерительное усилие не превосходило допустимое (5-9 Н), микровинт следует вращать только при помощи трещотки 12.

Микрометрические инструменты имеют два отсчетных устройства. Первое отсчетное устройство состоит из продольной шкалы, нанесенной на стебле, и указателя, которым является торец барабана 10.

Продольная шкала имеет два ряда поперечных штрихов, расположенных по обе стороны продольного штриха и сдвинутых относительно друг друга на 0,5 мм. Оба ряда штрихов образуют, таким образом, одну продольную шкалу с ценой деления, равной шагу микровинта.

Второе отсчетное устройство, являющееся нониусом, состоит из шкалы с ценой деления 0,01 мм, нанесенной на конусной поверхности барабана 10 и указателя в виде продольного штриха на стебле 9. При шаге микровинта, равном 0,5 мм, одному обороту микровинта и скрепленного с ним барабана 10 соответствует перемещение торца барабана на одно деление. Два оборота микровинта будут соответствовать 1,0 мм. На круглой шкале барабана нанесено пятьдесят делений. Следовательно, поворот барабана с микровинтом на одно деление относительно продольного штриха стебля 9 будет соответствовать 0,01 мм.

Для определения размера проверяемой детали отсчет снимают по двум отсчетным устройствам, суммируя их показания.

П р и м е р . На стебле 1 (рис. 5.23, а) отсчитывается количество делений с интервалом 0,5 равное 17. Следовательно, по первому отсчетному устройству отсчет равен $17 \times 0,5 = 8,5$ мм. После этого по второму отсчетному устройству, т.е. по шкале нониусного барабана 2 отсчитываются десятые и сотые доли миллиметра - 0,27 (27 делений соответствуют продольному штриху стебля 1).

Результат измерения: $8,5 + 0,27 = 8,77$.

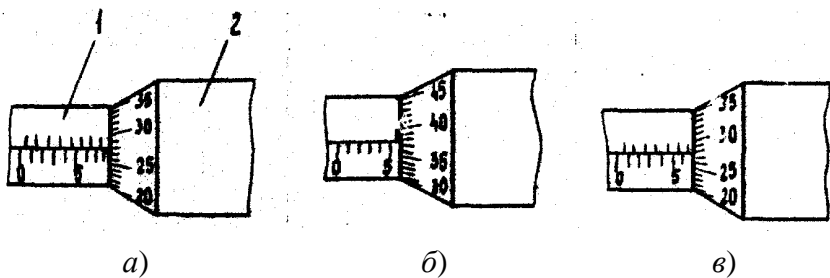


Рис. 5.23. Примеры отсчета по резьбовому микрометру

Если кромка барабана остановится между верхним и нижним штрихом стебля (рис. 5.23, б), то полученный размер представляет собой сумму трех величин: числа целых миллиметров до ближайшего нижнего к кромке барабана деления на стебле, полмиллиметра от этого деления до верхнего деления и показания в сотых долях миллиметра по барабану.

В рассмотренном случае, этот размер будет складываться из следующих величин: $5 + 0,5 + 0,37 = 5,87$ мм.

Если же кромка барабана остановится между нижним и верхним штрихами стебля (рис. 5.23, в), то число целых миллиметров полученного размера определяется по нижнему делению шкалы и к нему непосредственно прибавляется число сотых долей миллиметра по показаниям барабана. В данном случае этот размер будет равен: $7 + 0,28 = 7,28$ мм.

Отсчет показаний микрометра следует производить при застопоренном барабане.

Резьбовые шаблоны (рис. 5.24) применяются при определении шага резьбы, для чего приплывают шаблоны последовательно к резьбе и наблюдают просветы между ними и профилем резьбы.

Пластинка, обеспечивающая на всей своей длине одинаковый просвет с профилем резьбы, будет характеризовать искомый шаг резьбы.

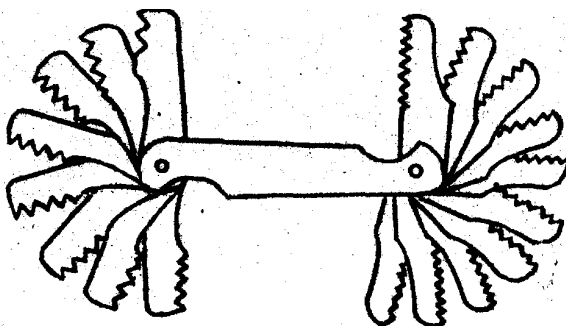


Рис. 5.24. Резьбовые шаблоны

Задание:

1. Ознакомиться со стандартами на метрические резьбы.
2. Определять значение элементов резьбы данной резьбовой детали по справочнику /1/. или государственному стандарту.
3. Построить поля допусков резьбы по найденным данным.
4. Ознакомиться с устройством резьбового микрометра, определить числовые значения основных метрологических характеристик резьбового микрометра.
5. Измерить с помощью резьбовых шаблонов шаг резьбы и подобрать соответствующие вставки к резьбовому микрометру.
6. Измерить средний диаметр резьбы резьбовым микрометром.
7. Определить годность резьбы по результатам измерений.
8. Полученные результаты внести в форму отчета.

Порядок выполнения работы

Определить и внести в форму отчета числовые значения элементов резьбы по справочнику /1/.

Определить для проверяемой резьбы продольные отклонения элементов резьбы из табличных данных справочника /1/ и занести в форму отчета.

Построить схему расположения полей допусков резьбы с обозначением на ней номинальных диаметров с их предельными отклонениями согласно порядку построения полей допусков, приведенному в справочнике /1/.

Определить шаг проверяемой резьбы с помощью резьбовых шаблонов.

Определить и внести в форму отчета числовые значения метрологических характеристик резьбового микрометра.

Проверить начальный отсчет и при необходимости отрегулировать микрометр.

Измерить средний диаметр резьбы микрометром в соответствии со схемой измерения и методикой измерения и отчета показаний.

Внести соответствующие измерения и форму отчета.

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 7 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЫЗЬБЫ

Требуется проверить резьбу поэлементным методом и дать заключение о годности.

Выполнение работы

1. С помощью штангенциркуля и резьбовых шаблонов определить номинальное значение наружного диаметра и шага резьбы детали, найти остальные значения элементов резьбы и занести их в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Номинальные размеры элементов резьбы

| Наружный диаметр, мм | Средний диаметр, мм | Внутренний диаметр, мм | Шаг, мм | Угол профиля, град. |
|----------------------|---------------------|------------------------|---------|---------------------|
| | | | | |

2. Из таблиц стандарта для проверяемой резьбы определить предельные отклонения основных элементов и внести их в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Предельные отклонения элементов резьбы

| Обозначение поля допуска | Наименование отклонения | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|--|--|--|--|--|
| | верхнее | | | | | |
| | нижнее | | | | | |

3. Начертить схему расположения полей допусков резьбы с обозначением на ней номинальных диаметров с их предельными отклонениями (табл. 5.7).

4. Измерить средний диаметр резьбы резьбовым микрометром, подобрав предварительно вставки к резьбовому микрометру в соответствии с шагом резьбы.

Таблица 5.7

Схема измерения

| Схема измерения | | Результаты измерений | |
|--------------------|--|----------------------|---|
| | | Сечения | |
| | | 1-1 | |
| | | 2-2 | |
| | | 3-3 | |
| | | 4-4 | |
| | | 5-5 | |
| | | 6-6 | |
| Маркировка вставок | | ! | ! |

5. Характеристика резьбового микрометра

Цена деления шкалы

Пределы измерения

6. Дать заключение о годности, сравнивая полученные действительные значения основных элементов резьбы с допускаемыми по соответствующему государственному стандарту.

Допуск среднего диаметра резьбы, указанный в стандартах, является суммарным и включает в себя допуск на соответственно средний диаметр, а также величины диаметральных компенсаций погрешностей шага f_r и угла наклона профиля f_a .

Годность резьбового изделия определяется по приведенному среднему диаметру резьбы, подсчитанному по результатам измерений отдельных элементов следующим образом: если подсчитанный диаметр по результатам измерений находится в пределах допуска, то резьба считается годной.

Вопросы для самоконтроля

Назначение резьбы.

Обозначение резьба на чертежах.

Какие основные элементы резьбы регламентированы предельными отклонениями по стандарту ?

Что такое диаметральные компенсации погрешностей шага и угла профиля и как их определить ?

С какой целью введено понятие приведенного среднего диаметра резьбы ?

Назначение комплексного и поэлементного методов контроля.

Какие средства измерения используются при установлении действительных значений наружного и среднего диаметров, шага и угла профиля резьбы ?

С какой целью измеряют половину угла профиля, а не полный угол ?

Что такое наивыгоднейший диаметр проволок ?

С какой целью производят измерение шага и половины угла профиля по левой и правой сторонам профиля резьбы ?

Как дается заключение о годности резьбы при комплексном и поэлементном методах контроля ?

5.3.2. Лабораторная работа № 8

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Цель работы: изучить методы и средства контроля зубчатых колес. Проанализировать требования к точности зубчатых колес. Измерить параметры, характеризующие точность зубчатых колес. Дать заключение о годности зубчатого колеса по контролируемым параметрам.

Общие положения

Зубчатые передачи широко применяются как в машинах, так и в приборах. По эксплуатационному назначению можно выделить четыре основные группы передач: отсчетные, скоростные, силовые и общего назначения. Точностные требования к передачам устанавливаются исходя из их назначения. Установлено двенадцать степеней точности зубчатых колес и передач, обозначаемых в порядке убывания: 1, 2, 3, ... 12. Для каждой степени точности установлены нормы допускаемых отклонений параметров, определяющих кинематическую точность колес и передачи, плавность работы и контакт зубчатых колес и передач, что позволяет назначить различные нормы и степени точности для передач в соответствии с их эксплуатационным назначением.

Лабораторная работа состоит из трех заданий:

Контроль параметров кинематической точности зубчатых колес;

Контроль параметров плавности работы зубчатых колес;

Контроль параметров, характеризующих нормы базового зазора.

Объект контроля: прямозубое цилиндрическое колесо

$m = 2 \dots 5$ мм, $z_n = 20 \dots 40$, степень точности зубчатого колеса

4 ...9, вид сопряжений и допуск базового зазора – произвольные.

Контроль параметров кинематической точности зубчатых колес.

Средства измерений и вспомогательные устройства: межцентромер, нормалемер, колеса измерительные, плоскопараллельные концевые меры длины и принадлежности к ним.

МЕЖЦЕНТРОМЕР (рис. 5.25) имеет основание 1, плавающий суппорт 2, смонтированный на шариках, жесткий суппорт 3, устанавливаемый в требуемое положение по шкале 4 и нониусу 5 при помощи винта с маховичком 6 и стопора 7.

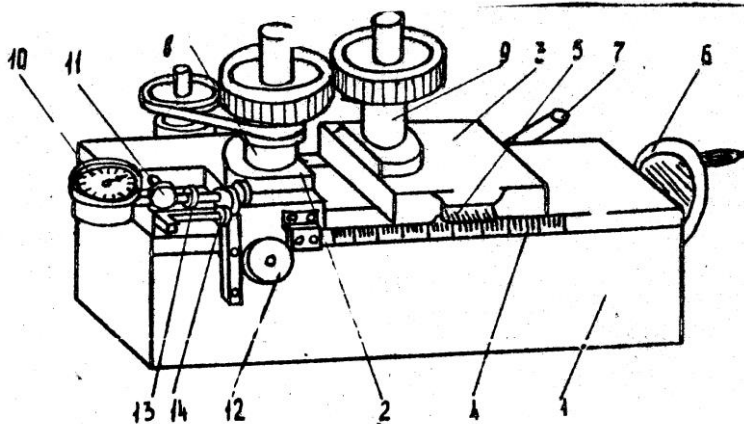


Рис. 5.25. Межцентромер

Оправки 8 и 9 жестко связаны с суппортами 2 и 3; на оправку 8 сажается измерительное колесо, на оправку 9 проверяемое колесо. Суппорт 2 под действием пружины, находящейся внутри него, прижимает измерительное колесо к проверяемому колесу, создавая плотное зацепление.

Индикатор 10, закрепленный в державке 11, регистрирует отклонения и колебание измерительного межцентрового расстояния при проворачивании колес относительно друг друга.

НОРМАЛЕМЕР (рис. 5.26) состоит из цилиндрической пустотелой штанги I, по которой перемещается разрезная втулка 2, четко соединенная с переставной измерительной губкой 3.

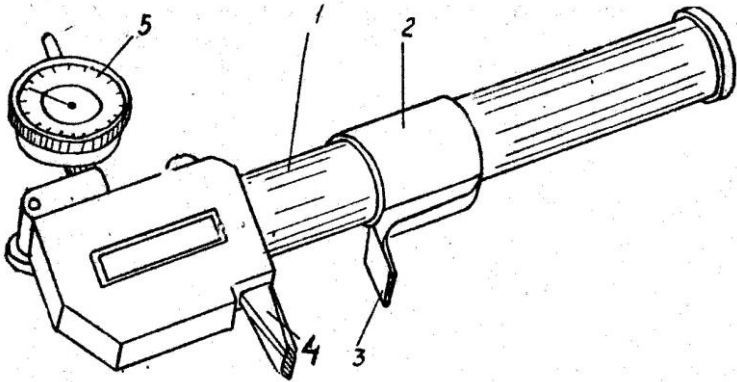


Рис. 5.26. Нормалемер

Подвижная измерительная губка 4, укрепленная на двух параллельных пружинах, может перемещаться параллельно оси штанги и передавать свое перемещение индикатору 5 через угловой рычаг. Нормалемер настраивают на требуемый размер по концевым мерам, перемещаемым между его губками.

Измерение колебаний межосевого расстояния и длины общей нормали осуществляются методом непосредственной оценки.

Контроль кинематической точности зубчатого колеса осуществляется с использованием двух показателей, составляющих комплекс, достаточный для оценки колеса по норме кинематической точности.

При измерении межосевого расстояния на межцентромере измеряемое и контрольное зубчатые колеса устанавливают на оправке межцентромера. Перемещая его подвижную каретку, вводят колесо в двухпрофильное зацепление, поворачивает контролируемое зубчатое колесо на полный оборот и фиксируют размах показаний индикатора, характеризующий колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса.

При измерении колебания длины общей нормали, губки нормалемера настраивают на произвольную общую нормаль

колеса. Число зубьев Z_n , определяющих длину нормали, рассчитывают по формуле

$$Z_n = Z / 9 + 0,5 ,$$

где Z - число зубьев колеса.

Рассчитанное значение Z_n округляют до ближайшего большего условного числа.

Колебание измерительного межосевого расстояния определяют как алгебраическую разность между наибольшим и наименьшим показаниями прибора за полный оборот контролируемого колеса. При контроле межосевого расстояния записывают измеренные значения наибольшего в наименьшего отклонений и колебание межосевого расстояния.

Колебание длины общей нормали определяют как алгебраическую разность между наибольшим и наименьшим отклонениями от произвольного значения, на которое был настроен нормалемер. В качестве результатов измерений фиксируют все измеренные отклонения от настроенного размера общей нормали.

Результаты намерений проставляют с указанием погрешностей.

Порядок выполнения работы.

Проанализировать требования к точности зубчатого колеса.

Оценить погрешности измерений.

Измерить отклонения межосевого расстояния от произвольно настроенного размера и определить колебание межосевого расстояния.

Рассчитать число зубьев, укладываемых на длине общей нормали колеса.

Настроить прибор на произвольную общую нормаль и измерить отклонение длин общих нормалей от настроенного значения. Определить значение колебания длины общей нормали.

Сравнить измеренные значения колебания межосевого расстояния и длины общей нормали с предельными допускаемыми значениями.

Дать заключение о годности зубчатого колеса по норме кинематической точности.

Контроль параметров плавности работа зубчатых колес

Средства измерений и вспомогательные устройства: шагомер тангенциальный, принадлежности к шагомеру, набор концевых мер длины.

ШАГОМЕР ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЙ, используемый для проверки основного шага, изготавливают трех моделей (рис. 5.27):

БВ - 1086 для $m = 2 - 10$ мм;

БВ - 1081 для $m = 10 - 16$ мм;

БВ - 1101 для $m = 10 - 36$ мм.

Чувствительный измерительный наконечник I прибора подвешивается на плоских пружинах и связан со встроенной в корпус прибора двухсторонним отсчетным устройством с ценой деления 0,001 мм. Измерительный наконечник 2 может перемещаться при помощи винта 3 и стопорится винтом 4. Специальный опорный наконечник 5 поддерживает прибор при измерении колеса. Наконечник 5 может перемещаться винтом 6 и поворачиваться вокруг оси при помощи винта 7. Стопором служит маховик 8. Перед измерением прибор настраивают на номинальное значение основного шага $=m \pi \cos \alpha_0$ при помощи державки 9, в которую закладываются струбцина 10 с блоком концевых мер и специальными боковиками. Блок помещают между боковиками II и 12 и зажимают винтом 13.

Прибор устанавливается в струбцине 10 таким образом, чтобы неподвижный измерительный наконечник 2 поместился между роликами и боовиком 12, а подвижный измерительный наконечник I контактировал с боковиком II. При помощи винта 3 отсчётному прибору сообщается натяг на один оборот стрелки.

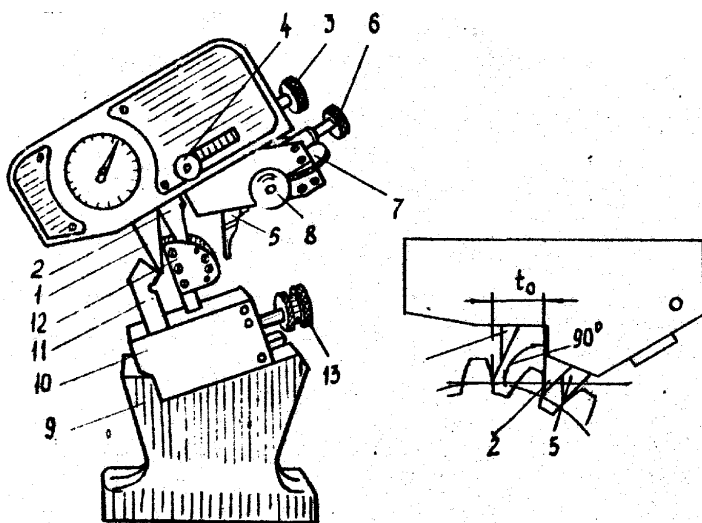


Рис. 5.27. Шагомер тангенциальный

После закрепления винта 4 отсчетный прибор окончательно устанавливается на нулевое положение. Настроенный прибор переносится на зубчатое колесо и устанавливается таким образом, чтобы измерительные наконечники 1 и 2 касались одноименных профилей двух соседних зубьев колеса по нормали к их профилям, а упор 5, устанавливаемый винтами 5 и 7 и касающийся своим концом противоположного профиля третьего зуба, обеспечивал полное прилегание неподвижной губки к профилю зуба. Наконечники закрепляются винтами 4 и 8. Отклонение стрелки отсчетного прибора покажет отклонение основного дата от номинального.

При измерении шагомером шага зацепления используется метод сравнения с мерой.

Перед началом измерений шага зацепления шагомер настраивают по блоку концевых мер длины, установленному в струбцину со специальными боковиками из принадлежности к шагомеру. Шаг зацепления P_a определяют из зависимости:

$$P_a = m \pi \cos \alpha$$

С помощью настроенного шагомера измеряют шаги зацепления зубчатого колеса по "правам", и "левым" профилями зубьев, если требованиями к точности колеса не предусмотрен контроль только по одной стороне профиля и фиксируют значения отклонений шагов от номинального.

Из измеренных значений отклонений шага зацепления отыскивают максимальное, которое подлежит сравнению с предельным отклонением шага по заданной степени точности.

Результаты измерений представляют с указанием значений погрешностей.

Порядок выполнения работы.

Проанализировать требования к точности зубчатого колеса, подлежащего контролю.

Оценить погрешности измерений.

Настроить прибор на номинальный шаг зацепления и измерить отклонения шагов по "правому" и "левому" профилям. Определить максимальное отклонение шага зацепления.

Сравнить измеренные значения шага зацепления с предельными допускаемыми значениями.

Дать заключение о годности колеса по норме плавности работы.

Контроль параметров, характеризующих нормы бокового зазора зубчатого колеса

Средства измерений: штангензубомер, штангенциркул.

ШТАНГЕНЗУБОМЕР - прибор для определения толщины зубьев цилиндрических зубчатых колес по постоянной хорде (рис. 5.28).

Он состоит из двух взаимно-перпендикулярных линеек 2 и 5. Линейка 2 имеет неподвижную губку I, имеющую измерительную плоскость. По линейке 5 с нанесенной шкалой перемещается рамка 6 и подвижная губка 7, представляющая вторую измерительную плоскость. По вертикальной линейке перемещается рамка 3 с упором 4, определяющим высоту до хорды зуба. Перед измерением упор 4 по нониусу рамки 3 устанавливают на размер, соответствующий высоте h_c , на которой предполагается измерить длину хорды зуба, и закрепля-

ют в этом положении. Затем измерительные губки I и 7 сводятся до касания с профилем зуба колеса и производится измерение. Длину измеряемой хорды отсчитывают непосредственно по нониусу рамки 6 штангензубомера.

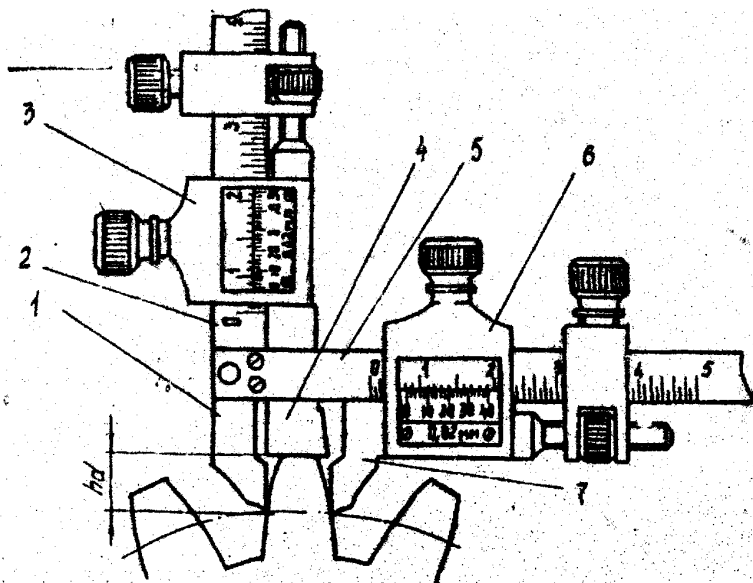


Рис. 5.28. Штангензубомер

Невысокая точность измерений штангензубомером связана с базированием прибора по окружности зубчатого колеса, а также с наличием кромочного контакта измерительных губок с поверхностью зубьев.

При измерении толщины зуба используется метод непосредственной оценки.

Перед началом, измерений прибор настраивают на расчетное значение высоты постоянной хорда h_c от окружности выступов, которое определяют из зависимости:

$$h_c = d_{aD} / 2 - G,$$

где d_{aD} - действительное значение наружного диаметра;

$$G = d/2 + (\pi/8 \sin 2\alpha + x \sin^2 \alpha)m,$$

d - диаметр делительной окружности

x - коэффициент смещения.

Определив d_{ad} с помощью штангенциркуля, находят значение h_c . Упор прибора устанавливают по нониусу на расчетное значение h_c . Измеряют толщину постоянной хорды диаметрально расположенных зубьев на нескольких взаимно перпендикулярных диаметрах.

О ф о р м л е н и е р е з у л ь т а т о в и з м е р е н и й.

Для оформления результатов измерений необходимо использовать расчетные формулы:

$$\text{длина постоянной хорды } S_c = 1,387m_n,$$

где m_n - нормальный модуль;

наибольшая и наименьшая допустимая толщина зуба по постоянной хорде:

$$\begin{aligned} S_{c \max} &= S_c - E_{c\text{спр}}, \\ S_{c \min} &= S_c - (E_{c\text{спр}} + T_{c \text{пр}}). \end{aligned}$$

Входящие в расчетные формулы наименьшие отклонения толщины зуба $E_{c\text{спр}}$ и допуск толщины зуба $T_{c\text{спр}}$ находят следующим образом: определяют значения E_{cs} и T_c из стандартов, исходя из допуска радиального биения зубчатого венца Fr , вида сопряжения, вида допуска бокового зазора и степени точности зубчатого колеса, а затем - производственные отклонения и допуск толщины зуба.

При измерении толщины зуба с использованием в качестве измерительной базы диаметра выступов производственное отклонение и допуск толщины зуба определяют по формулам:

$$\begin{aligned} E_{ce \text{пр}} &= IE_{ce}I + 0,09T_{ce}, \\ T_{ce} &= 0,8T_c. \end{aligned}$$

Результаты измерений толщины ряда зубьев необходимо представить в виде табл. 5.8.

Результаты измерений толщины зубьев

| | |
|------------|--|
| Номер зуба | |
| с, мм | |

Порядок выполнения работы

Проанализировать основные требования к точности зубчатого колеса, подлежащего контролю.

Оценить погрешность измерений.

Определить расчетное значение высоты до постоянной хорды.

Определить допустимую толщину зуба.

Полученные значения толщины зубьев по постоянной хорде сравнить с наибольшим и наименьшим допустимым значениями.

Дать заключение о годности зубчатого колеса по контрольному параметру.

Вопросы для самоконтроля

Какими параметрами характеризуется: кинематическая норма точности зубчатых колес, плавность работы зубчатых колес, боковой зазор зубчатой пары?

Приборы и инструменты для контроля: кинематической нормы точности зубчатых колес, плавности работы зубчатых колес, бокового зазора зубчатой пары. Конструкция приборов, принцип их работы, метрологические характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное учебное пособие содержит задания по восьми лабораторным работам. В учебном пособии представлены современные понятия обоснованного назначения требований точности к различным параметрам изделий, технологических процессов и производств.

Комплекс дисциплин «Метрология, стандартизация и технические измерения», дает студенту знания, которые входят в основу обязательных знаний абсолютно для всех специалистов, работающих в любой отрасли машиностроения.

В учебном пособии большое количество иллюстрированного материала.

Данная работа существенно восполнит, имеющуюся в настоящее время информацию по метрологическим проблемам, нормированию точности, стандартизации и сертификации. Существующая научная и учебно-методическая литература издана, в основном, более 10 лет назад. В данном учебном пособии особое внимание уделяется как фундаментальным вопросам, так и новым разработкам, возникшим в последнее десятилетие.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Допуски и посадки: справочник: в 2 ч. / М.А. Палей и др. - Л.: Политехника, 1991. - Ч. 1. - 576 с.; Ч.2. - 607 с.

2. Белкин И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): учеб. пособие для студ. машиностр. спец. вузов / И.М. Белкин. - М.: Машиностроение, 1992. 528 с.

3. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник для втузов / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

4. Цитович Б.В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: лабораторный практикум / Б.В. Цитович, В.Л. Соломахо, Л.Д. Ковалев. – М.: Высш. шк., 1987. – 134 с.

5. Зябрева Н.Н. Лабораторные занятия по курсу «Основы взаимозаменяемости технические измерения» / Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал. - М.: Машиностроение, 1966. С. 173-197.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1. Общие положения и указания к самостоятельной работе студентов | 5 |
| 2. Метрология и технические измерения | 6 |
| 2.1. Теоретическая часть | 6 |
| 2.1.1. Основные понятия | 6 |
| 2.1.2. Методы планирования измерений | 8 |
| 2.1.3. Универсальные средства измерений | 10 |
| 2.1.4. Критерии оценки погрешностей измерений | 14 |
| 2.2. Лабораторные работы | 16 |
| 2.2.1. Лабораторная работа № 1 Определение точностных параметров деталей штангенинструментом | 16 |
| 2.2.2. Лабораторная работа № 2 Определение геометрической точности и размеров деталей микрометрическими инструментами | 25 |
| 2.2.3. Лабораторная работа № 3 Определение геометрической точности и размеров деталей механическими приборами | 34 |
| 3. Нормирование отклонений формы и расположения поверхностей, методы и средства контроля. Волнистость и шероховатость. | 48 |
| 3.1. Теоретическая часть | 48 |
| 3.1.1. Общие положения | 48 |
| 3.1.2. Система нормирования отклонений формы и расположения поверхностей деталей | 50 |
| 3.1.3. Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей | 60 |
| 3.1.4. Система нормирования и обозначения шероховатости поверхности | 63 |
| 3.1.5. Волнистость поверхностей деталей | 73 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.6. Влияние шероховатости, волнистости, отклонений формы и расположения поверхностей деталей на взаимозаменяемость и качество машин | 75 |
| 3.2. Лабораторные работы | 77 |
| 3.2.1. Лабораторная работа № 4 Анализ параметров шероховатости поверхностей деталей | 77 |
| 3.2.2. Лабораторная работа № 5 Контроль отклонений формы и расположения поверхностей | 82 |
| 4. Нормирование точности угловых размеров и конусов | 93 |
| 4.1. Нормирование точности угловых размеров. Стандарты и допуски угловых размеров и конических соединений. Конусность, уклон | 93 |
| 4.1.1. Система единиц на угловые размеры | 93 |
| 4.1.2. Нормирование требований к точности угловых размеров | 95 |
| 4.1.3. Нормирование точности конических поверхностей | 98 |
| 4.2. Лабораторная работа № 6 Измерение углов и конусов | 101 |
| 5. Нормирование точности поверхностей сложной формы | 111 |
| 5.1. Нормирование точности метрической резьбы | 111 |
| 5.1.1. Резьбовые соединения, используемые в машиностроении | 111 |
| 5.1.2. Номинальный профиль метрической резьбы и ее основные параметры | 113 |
| 5.1.3. Нормируемые параметры метрической резьбы для посадок с зазором | 117 |
| 5.1.4. Понятие о приведенном среднем диаметре резьбы | 119 |
| 5.1.5. Поля допусков для нормирования точности элементов метрической резьбы | 125 |

| | |
|---|-----|
| 5.1.6. Соединения (посадки) резьбовых элементов деталей | 128 |
| 5.2. Нормирование точности цилиндрических зубчатых колес и передач | 131 |
| 5.2.1. Принцип нормирования точности зубчатых колес и передач | 132 |
| 5.2.2. Степени и нормы точности, виды сопряжений | 135 |
| 5.2.3. Условные обозначения требований к точности зубчатых колес и передач | 139 |
| 5.2.4. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие кинематическую точность зубчатых колес и передач | 141 |
| 5.2.5. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие плавность работы | 147 |
| 5.2.6. Нормируемые параметры (показатели), характеризующие полноту контакта | 151 |
| 5.3. Лабораторные работы | 157 |
| 5.3.1. Лабораторная работа № 7 Измерение параметров резьбы | 157 |
| 5.3.2. Лабораторная работа № 8 Контроль параметров цилиндрических зубчатых колес | 166 |
| Заключение | 176 |
| Библиографический список | 177 |

Учебное издание

Пачевский Владимир Морицович
Краснова Марина Николаевна

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В авторской редакции

Компьютерный набор М.Н. Красновой

Подписано к изданию 28.11.2014.

Объем данных 2,7 Мб

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14

