

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»

2013

ВВЕДЕНИЕ

Техническими измерениями называются измерения различных физических величин с помощью специальных технических методов и средств. В машиностроении наиболее распространены линейные и угловые измерения, то есть измерения линейных и угловых геометрических размеров изделий, шероховатости и волнистости поверхностей, отклонений расположения и формы поверхностей.

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к техническим измерениям, являются единство и точность измерений. Единство измерений — такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений необходимо, чтобы можно было сопоставлять результаты измерений, выполненных в разных местах, в различное время, с помощью разнообразных приборов. Единство измерений обеспечивает взаимозаменяемость изделий, например деталей, изготавливаемых по одному чертежу на разных предприятиях.

Точность измерений — качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Чем меньше разность между измеренным и истинным значениями, тем выше точность.

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется метрологией. Слово «метрология» происходит от греческих слов *metron* (мера) и *logos* (понятие).

Основные задачи метрологии — это развитие общей теории измерения; установление единиц физических величин; разработка методов и средств измерений; разработка способов определения точности измерений; обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений; установление эталонов и образцовых средств измерений; разработка методов передачи размеров единиц от эталонов и образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Физическая величина — свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Например, длина, масса, угол, давление и т. д.

Единица физической величины — физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1. Например, масса 1 кг, сила 1 Н, давление 1 Па, длина 1 м, угол 1 радиан.

Значение физической величины — оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Например, диаметр отверстия 0,01 м, масса тела 93 кг.

Измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Например, измерение диаметра вала микрометром, давления среды — манометром или вакуумметром.

Значение физической величины $X_{\text{изм}}$, полученное при измерении, находят по формуле

$$X_{\text{изм}} = Au$$

где A - числовое значение, u - единица физической величины.

В метрологии различают истинное и действительное значения физических величин.

Истинное значение — значение физической величины, которое идеальным образом отражает в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Истинное значение должно быть свободно от ошибок измерения, но так как все физические величины находят опытным путем и их значения содержат ошибки измерений, то истинное значение физических величин остаётся неизвестным.

Действительное значение — значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для определенной цели может быть использовано вместо него. При технических измерениях значение физической величины, найденное с допустимой по техническим требованиям погрешностью, принимается за действительное значение.

Погрешность измерения — отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины. Абсолютная погрешность — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины. Абсолютную погрешность измерения Δx определяют по формуле

$$\Delta x = X_{\text{изм}} - X$$

где X — истинное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения — отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению физической величины $\Delta x / X$. Она может выражаться также в процентах. Поскольку истинное значение измеряемой величины остается неизвестным, на практике можно найти лишь приближенную оценку погрешности измерения. При этом вместо истинного значения принимают значение физической величины, полученное при измерениях той же величины с точностью, в несколько раз более высокой. Например, погрешность измерения диаметра вала штангенциркулем, которая составляет $\pm 0,1$ мм, можно оценить, измерив тот же диаметр вала микрометром с погрешностью $\pm 0,004$ мм.

На производстве также широко используется более производительная операция измерений — контроль. Контроль качества продукции — проверка соответствия качества продукции установленным требованиям. При контроле физических величин проверяют, находится ли их действительное значение в допускаемых пределах, но числовое значение измеряемой величины не определяют. Например, проверяют, укладывается ли действительный размер диаметра вала в границы установленного допуска.

КЛАССИФИКАЦИЯ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

По способу получения значений физической величины измерения могут быть прямыми, косвенными, совокупными и совместными.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Примерами прямых измерений являются измерения длины с помощью линейных мер или температуры термометром. Прямые измерения составляют основу более сложных косвенных, совокупных и совместных измерений.

Косвенное измерение — измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям: например, тригонометрические методы измерения углов или измерение среднего диаметра резьбы методом трех проволок. Косвенные измерения в ряде случаев позволяют получить более точные результаты, чем прямые измерения. Например, погрешности прямых измерений углов угломерами на порядок выше погрешностей косвенных измерений углов с помощью синусных линеек.

Измерения могут быть абсолютными или относительными. Абсолютное измерение — измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. При линейных и угловых абсолютных измерениях, как правило, находят одну физическую величину, например диаметр вала штангенциркулем. Относительное измерение — измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Относительные измерения основаны на сравнении измеряемой величины с известным значением меры. Искомую величину при этом находят алгебраическим суммированием размера меры и показаний прибора.

Для повышения точности измерений разработан целый ряд методов измерений. Метод измерений — совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Принципом измерений называется совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.

Метод непосредственной оценки — метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Например, измерение длины тела линейкой, силы электрического тока амперметром.

Метод сравнения с мерой — метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение диаметра вала блоком концевых мер в державке с притертыми боковичками, массы тела на рычажных весах с уравновешиванием гирями.

Метод противопоставления — метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Например, измерение линейных штриховых мер на компараторе. Дифференциальный метод — метод сравнения с мерой, в кото-

ром на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой. Например, измерение линейных размеров на оптиметрах, оптикаторах, контактных интерферометрах .

Нулевой метод — метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля.

Метод замещения — метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой.

Метод совпадений — метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. Например, измерения линейных размеров штангенциркулями с нониусом или угловых размеров универсальными угломерами с угловым нониусом основаны на совпадении отметок на основной шкале и шкале нониуса,

Существуют два метода контроля. Дифференцированный (поэлементный) метод контроля состоит в независимой проверке каждого параметра изделия в отдельности. Например, контроль среднего диаметра, шага и половины угла профиля резьбы. Комплексный метод контроля заключается в одновременной проверке суммарной погрешности нескольких параметров. Например, контроль резьбы проходной резьбовой пробкой. Дифференцированный метод позволяет выявить причины брака изделий, а комплексный метод обеспечивает проверку взаимозаменяемости изделий.

Все методы измерений и контроля могут осуществляться контактным способом, при котором измерительные поверхности прибора взаимодействуют с проверяемым изделием, или бесконтактным способом.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Средства измерений — технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства. Средства измерений делят на меры и измерительные приборы.

Мера — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера, например концевая мера длины, гиря— мера массы. Однозначная мера воспроизводит физическую величину одного размера (например, концевая мера длины), а многозначная мера — ряд одноименных величин различного размера (например, штриховая мера длины и многогранная призма). Специально подобранный комплект мер, применяемых не только в отдельности, но и в различных сочетаниях с целью воспроизведения ряда одноименных величин различного размера, называется набором мер (например, наборы плоскопараллельных концевых мер длины и наборы угловых мер).

Измерительные приборы — средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. По характеру показаний измерительные приборы делят на аналоговые, цифровые, показывающие, регистрирующие, самопишущие и печатающие, а по принципу действия — на приборы пря-

мого действия, приборы сравнения, интегрирующие и суммирующие приборы. Для линейных и угловых намерений широко используются показывающие приборы прямого действия, допускающие только отсчет показаний.

По назначению измерительные приборы делят на универсальные, предназначенные для измерения одноименных физических величин различных изделий, и специализированные, служащие для измерения отдельных видов изделий (например, размеров резьбовых изделий или зубчатых колес) или отдельных параметров изделий (например, шероховатости, отклонений формы поверхностей).

По конструкции универсальные приборы для линейных измерений делят на: 1) штриховые приборы, снабженные нониусом (штангенинструменты); 2) приборы, основанные на применении микрометрических винтовых пар (микрометрические инструменты); 3) рычажно-механические приборы, которые по типу механизма подразделяют на рычажные (миниметры), зубчатые (индикаторы часового типа), рычажно-зубчатые (индикаторы или микромеры), пружинные (микрораторы и микаторы) и рычажно-пружинные (миникаторы); 4) оптико-механические (оптиметры, оптикаторы, контактные интерферометры, длинмеры, измерительные машины, измерительные микроскопы, проекторы).

По установившейся терминологии простейшие измерительные приборы — штангенциркули, микрометры — называют измерительными инструментами.

Для специальных линейных и угловых измерений в машиностроении также широко применяют измерительные приборы, основанные на других принципах работы, — пневматические, электрические, оптико-механические с использованием лазерных источников света.

Для выполнения операций контроля в машиностроении широко используются калибры, которые представляют собой тела или устройства, предназначенные для проверки соответствия размеров изделий или их конфигурации установленным допускам. К ним относятся гладкие предельные калибры (пробки и скобы), резьбовые калибры, шаблоны и т.д.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, СВОЙСТВА И ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Меры характеризуются номинальным и действительным значениями. Номинальное значение меры — значение величины, указанное на мере или приписываемое ей. Действительное значение меры — действительное значение величины, воспроизводимой мерой.

Измерительные приборы состоят из чувствительного элемента, который находится под непосредственным воздействием измеряемой величины, измерительного механизма и отсчетного устройства для нахождения значения измеряемой величины.

Отсчетное устройство показывающего прибора имеет шкалу и указатель, выполненный в виде материального стержня — стрелки — или в виде луча света — светового указателя.

Шкала — часть отсчетного устройства, представляющая собой совокупность отметок и проставленных у некоторых из них чисел отсчета или других символов, соответствующих ряду последовательных значений величины. Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется делением шкалы. Интервал деления шкалы — расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы. Шкалы с делениями постоянной длины называют равномерными.

Основные метрологические показатели приборов: цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы; начальное и конечное значения шкалы — наименьшее и наибольшее значение измеряемой величины, указанные на шкале; диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы; диапазон измерений — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерения; предел измерений — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений; чувствительность измерительного прибора — отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины.

Абсолютную чувствительность прибора S определяют по формуле

$$S = a/c$$

где a — длина деления шкалы; c — цена деления шкалы.

При измерениях длин чувствительность прибора является безразмерной величиной и называется также передаточным отношением прибора.

Вариация показаний — разность показаний прибора, соответствующих данной точке диапазона измерения, при двух направлениях медленных изменений показаний прибора в процессе подхода к данной точке диапазона измерений.

Измерительное усилие прибора — сила, создаваемая прибором при контакте с изделием и действующая по линии измерения. Разность между наибольшим и наименьшим значениями усилия называется максимальным колебанием измерительного усилия. Колебания усилия обычно происходят из-за изменения деформаций пружины при изменении положения измерительного наконечника.

Погрешности средств измерений возникают в результате воздействия большого числа факторов, обусловленных их изготовлением, хранением, эксплуатацией и условиями проведения измерений. Абсолютная погрешность меры — разность между номинальным значением меры и истинным значением воспроизводимой ею величины. Абсолютная погрешность измерительного прибора — разность между показаниями прибора и истинным значением измеряемой величины. Однако в связи с тем, что истинное значение величины неизвестно, на практике вместо него используют действительное значение величины.

На погрешность средств измерений сильное влияние оказывают условия их применения. Нормальными условиями применения средств измерений назы-

вают условия, при которых влияющие величины имеют нормальное значение или находятся в пределах нормальной области значений. Влияющей физической величиной называется величина, которую не измеряют данным средством измерений, но которая оказывает влияние на результаты измерений этим средством. К влияющим величинам относятся, например, температура, давление, влажность, вибрации, запыленность окружающей среды и т. д.

Нормальные значения основных влияющих величин для линейных и угловых измерений равны: температура 20°C, атмосферное давление 101324, 72 Па (760 мм рт.ст.), относительная влажность 58%. Пределы допускаемых отклонений влияющих величин от нормальных значений зависят от допусков и диапазона измеряемых величин.

Погрешность средств измерений, используемых при нормальных условиях, называется основной погрешностью. Изменение действительного значения меры или показания прибора при отклонении одной из влияющих величин за пределы, установленные для нормального значения или для нормальной области значений, называется дополнительной погрешностью средства измерения.

Класс точности средства измерений — обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на их точность и определяемыми стандартами на отдельные виды средств измерений. Например, класс точности концевых мер характеризует близость их размера к номинальному значению, допускаемое отклонение от плоскопараллельности, а также притираемость и стабильность.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Метрологические процессы обеспечивают сохранение точности средств измерений при эксплуатации.

Поверка — определение метрологическим органом погрешностей средства измерений и установление его пригодности к применению.

Метрологическая аттестация — исследование средства измерений, выполняемое метрологическим органом для определения метрологических свойств этого средства измерений, и выдача документа с указанием полученных данных.

Градуировка — определение градуировочной характеристики средства измерений, под которой понимается зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерения, составленная в виде таблицы, графика и формулы.

Юстировка — совокупность операций по доведению погрешностей средств измерений до значений, соответствующих техническим требованиям.

Ревизия — проверка состояния средств измерений и выполнения правил их поверки и применения, проводимая органом Государственной метрологической службы.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТАМИ

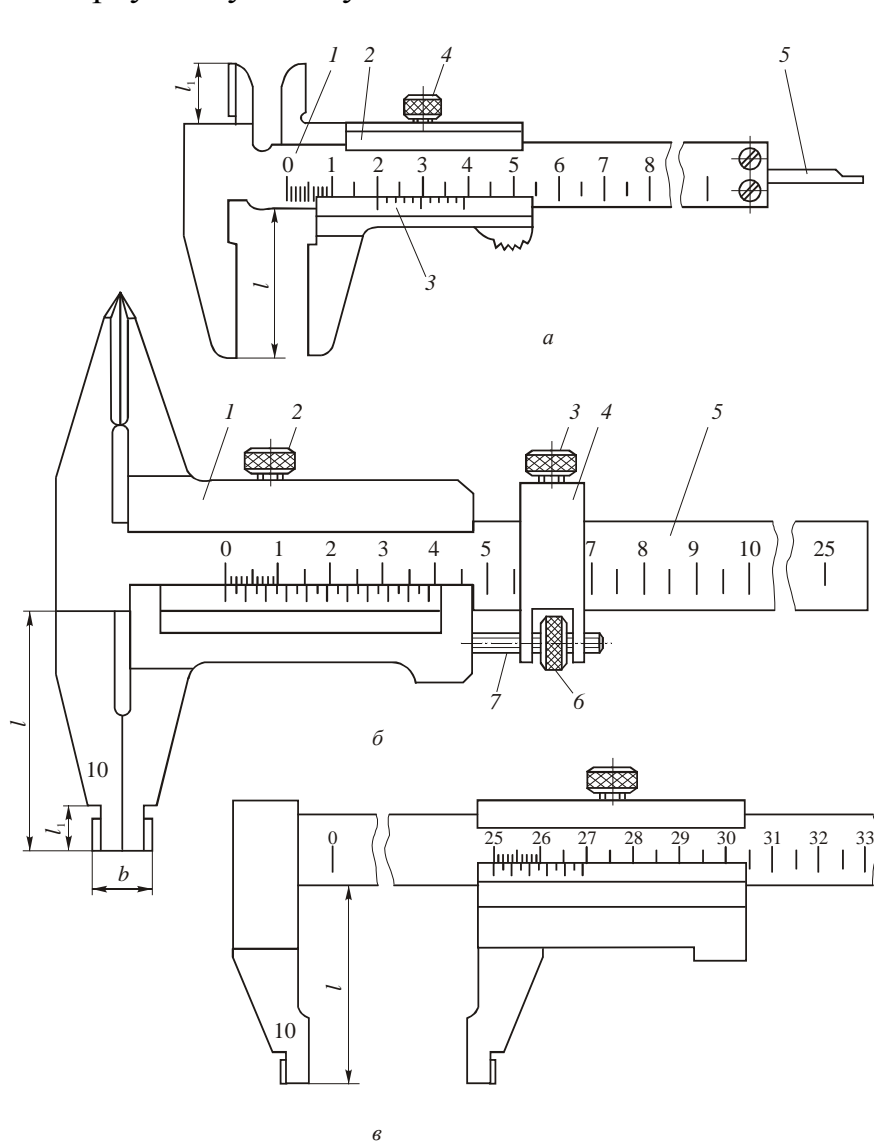
Цель работы

1. Изучить устройство, принцип измерения и метрологические характеристики штангенинструментов.
2. Измерить выданную деталь штангенциркулем.
3. Выполнить эскиз детали с нанесением действительных размеров.

ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТЫ

Для измерения линейных размеров абсолютным методом и для воспроизведения размеров при разметке деталей служат штангенинструменты, объединяющие под этим названием большую группу измерительных средств: штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы, штангензубомеры и т.д.

Наиболее распространенным типом штангенинструмента является штангенциркуль. Существует несколько моделей штангенциркулей (ГОСТ 166-80).



Штангенциркуль ШЦ-I с двусторонним расположением губок (рис.1,а) для наружных и внутренних измерений и с линейкой для измерения глубин (цена деления нониуса 0,1 мм, предел измерений от 0 до 125 мм) имеет штангу (линейку) 1 с основной шкалой, деления которой нанесены через 1 миллиметр. Штанга имеет неподвижные измерительные двусторонние губки с рабочими поверхностями, перпендикулярными штанге. По линейке перемещается измерительная рамка 2 со второй парой губок; на рамке имеется стопорный винт 4 для ее фиксации в требуемом положении. На измерительной рамке нанесена

Рис.1

дополнительная шкала - нониус 3. Наружные размеры измеряют нижними губками, имеющими плоские рабочие поверхности малой ширины. Верхние губки применяют для измерения внутренних размеров. Линейка-глубиномер 5 предназначена для измерения высоты уступов, глубины глухих отверстий и т.п.

Штангенциркуль ШЦ-II с двусторонним расположением губок (рис.1,б) предназначен для наружных и внутренних измерений и разметочных работ. Состоит из тех же основных деталей, что и ШЦ-I, но имеет вспомогательную рамку микроподачи 4 для точного перемещения рамки 1 по штанге 5. Для этого необходимо предварительно зафиксировать вспомогательную рамку 4 стопорным винтом 3, а затем, вращая гайку 6 по микровинту 7, перемещать измерительную рамку по штанге. Как правило, этой подачей пользуются для точной установки размера на штангенциркуле при разметке. Остроконечные губки штангенциркуля ШЦ-II применяют для разметки или измерения наружных размеров в труднодоступных местах. Нижние губки для измерения внутренних размеров имеют цилиндрические рабочие поверхности. Размер губок в сведенном состоянии обычно бывает равен 10 мм и определяет наименьший внутренний размер, который может быть измерен этим штангенциркулем. При внутренних измерениях к отсчету по шкале следует прибавить размер губок, указанный на их боковой стороне. Штангенциркули типа ШЦ-II имеют нониусы с ценой деления 0,1 и 0,05 мм и пределы измерения 0-160, 0-200, 0-250 мм.

Штангенциркуль ШЦ-III не имеет верхних остроконечных губок и устройства для микроподачи измерительной рамки. Он применяется для наружных и внутренних измерений с помощью таких же, как у ШЦ-II, нижних губок. Цена деления нониуса 0,1 и 0,05 мм, пределы измерений от 0 до 2000 мм.

Штангенглубиномер (рис.2) служит для измерения глубин и выступов. Он состоит из основания 1, штанги 6 с основной миллиметровой шкалой, измерительной рамки 3, стопорного винта 2, устройства микрометрической подачи 5, стопорного винта 4, гайки и винта 7 микрометрической подачи и нониуса 8.

Выпускаются штангенглубиномеры с ценой деления нониуса 0,05 мм и

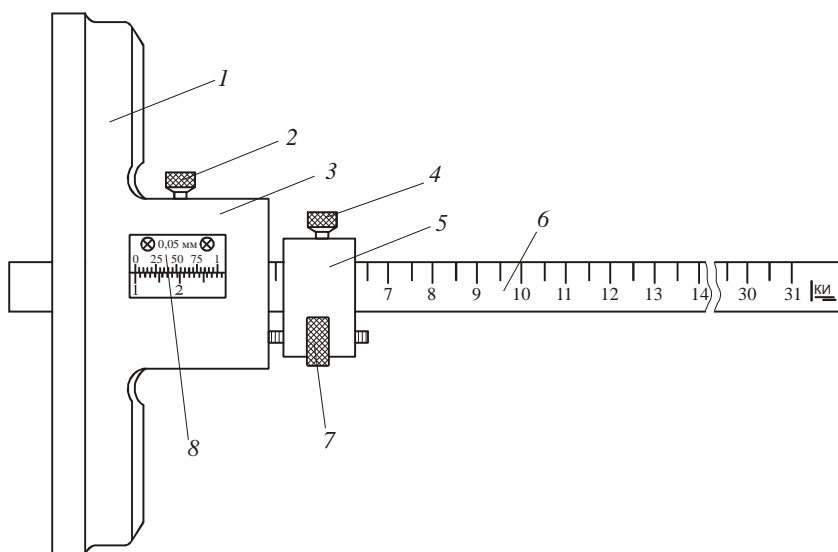


Рис.2

пределами измерений 0-160, 0-200, 0-250, 0-315, 0-400 мм. По конструкции штангенглубиномер отличается от штангенциркуля отсутствием неподвижных губок на штанге и наличием вместо них основания 1, которое является опорой при измерении глубины. Нулевой размер штангенглубиномер показывает при совмещении торца штанги (линейки) 6 и основания 1.

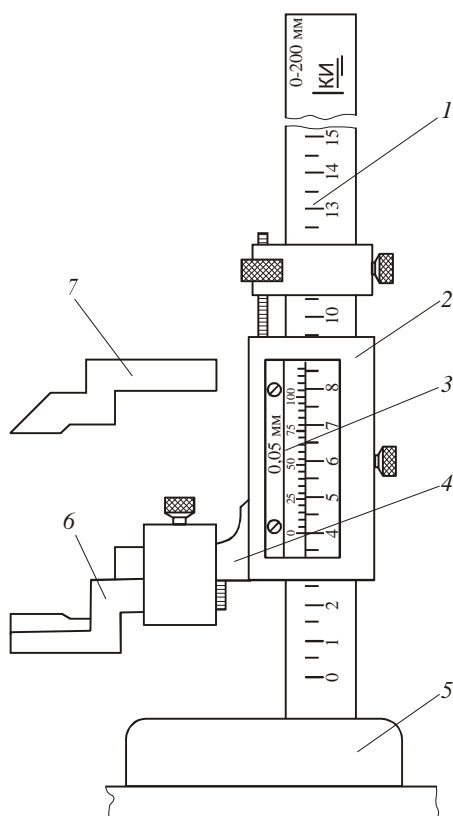


Рис.3

Штангенрейсмас применяют для разметки, но он может быть использован и для измерения высоты деталей, установленных на плите (рис.3). Штангенрейсмасы имеют цену деления нониуса 0,1 и 0,05 мм и предел измерений до 2500 мм. Они имеют массивное основание 5 для установки на плите. Перпендикулярно основанию расположена штанга 1 с миллиметровой шкалой. Подвижная рамка 2 с нониусом 3 имеет державку 4 для установки специальной измерительной ножки 6 для измерения высоты или разметочной ножки 7.

При разметке вертикальных поверхностей штангенрейсмас с установленным по шкале и нониусу размером (при этом рекомендуется пользоваться микроподачей рамки) перемещается по плите вдоль размечаемой заготовки. Острые разметочной ножки наносит на поверхность заготовки горизонтальную линию.

ОТСЧЕТНОЕ УСТРОЙСТВО

В основу конструкции отсчетного устройства входят штанга (измерительная линейка) с нанесенной на ней основной шкалой с интервалом деления 1 мм. Каждое пятое деление шкалы штанги отмечено удлиненным штрихом, а каждое десятое – штрихом более длинным с соответствующим числом сантиметров.

По штанге свободно перемещается измерительная рамка, на скосе которой (напротив миллиметровой шкалы штанги) нанесена дополнительная шкала, называемая нониусом. Нониус служит для отсчета дробных долей миллиметра.

Отсчет измерений в нониусном устройстве основан на разности интервалов делений основной шкалы и дополнительно шкалы нониуса. Нониус имеет небольшое число делений n (10, 20 или 50 делений-штрихов). Нулевой штрих нониуса выполняет роль стрелки и позволяет отсчитывать размер в миллиметрах на основной шкале.

Цена деления нониуса c равна цене деления основной шкалы $a=1$ мм, разделенной на число делений шкалы нониуса n :

$$c = a/n.$$

Применяются нониусы с ценой деления 0,1; 0,05 мм и в редких случаях 0,02 мм. Интервал деления шкалы нониуса b зависит от принятого значения модуля γ , который выбирается из чисел 1; 2; 3; 4 и больше. Но надо иметь в виду, что с увеличением модуля увеличивается длина дополнительной шкалы-нониуса и увеличиваются габаритные размеры всего отсчетного устройства.

Интервал деления шкалы нониуса b принимают кратным интервалу деления основной шкалы

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

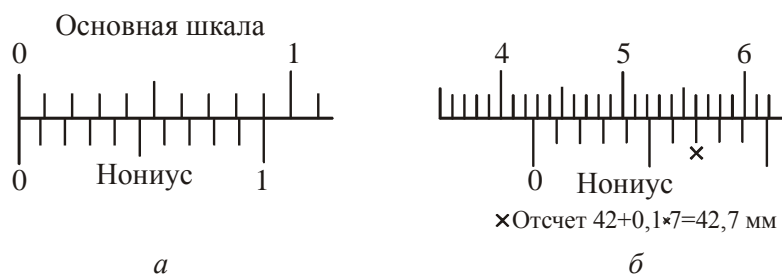
где γ - модуль нониуса, характеризующий растянутость шкалы нониуса или соотношение между значениями интервалов основной шкалы и нониуса.

Длина шкалы нониуса

$$l = n \cdot b = (\gamma \cdot n - 1) \cdot a.$$

Для примера возьмем цену деления нониуса $c=0,1$ мм при модуле $\gamma=1$, тогда интервал деления шкалы нониуса $b=1 \cdot 1 - 0,1=0,9$ мм. Все последующие штрихи нониуса наносят с таким же интервалом. Из-за того, что интервалы делений нониуса меньше, чем на основной шкале, постепенно накапливается отставание положения штрихов нониуса от штрихов основной шкалы и десятый штрих нониуса совпадает с девятым штрихом основной шкалы (рис.4).

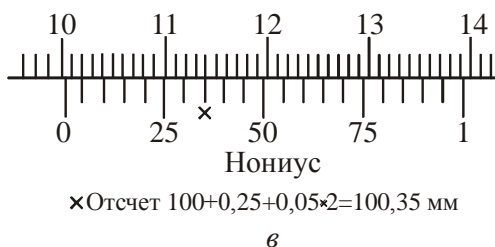
Цена деления нониуса $c=0,1$ мм



a

б

Цена деления нониуса $c=0,05$ мм



в

Рис.4

Для удобства отсчета дробных долей миллиметра чаще выпускаются штангенинструменты с модулем шкалы нониуса равным 2.

При определении размера детали поступают следующим образом. Если нулевой штрих дополнительной шкалы-нониуса совпал с каким-либо штрихом основной шкалы, то значение измеряемой величины отсчитывают только по основной шкале в мм.

Если же нулевой штрих нониуса не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то отсчет получается из двух частей. Целое число в миллиметрах берут по основной шкале слева от нулевого штриха нониуса и прибавляют к нему доли миллиметра, полученные умножением цены деления нониуса на порядковый номер штриха нониусной шкалы, совпавшего со штрихом основной шкалы (рис.4,*б,в*).

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Модель штангенциркуля и его основные метрологические характеристики. Метод измерения.
3. Эскиз детали с действительными размерами.

Контрольные вопросы

1. Назовите типы штангенинструментов.
2. Модели штангенциркулей, их конструктивные особенности и назначение.
3. Как отсчитываются при измерениях целые и дробные доли миллиметров? Устройство нониуса.
4. Для каких целей маркируется толщина губок у некоторых моделей штангенциркулей?
5. Для чего служит штангенглубиномер?
6. Для чего служит штангенрейсмас?

Литература

1. Марков Н.Н., Ганевский Г.М. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов. – М.:Машиностроение, 1993.
2. Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник. – М.:Машиностроение, 1987.
3. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения. – М.:Машиностроение, 1980.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МИКРОМЕТРИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Цель работы

1. Изучить устройство, принцип измерения и метрологические характеристики микрометрических инструментов.
2. Измерить деталь гладким микромером и дать заключение о годности детали.

МИКРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Микрометрические инструменты являются широко распространенными средствами измерений наружных и внутренних размеров, глубин пазов и отверстий. Принцип действия этих инструментов основан на применении пары винт-гайка. Точный микрометрический винт вращается в неподвижной микрогайке. От этого узла и получили название эти инструменты.

В соответствии с ГОСТ 6507-78 выпускаются следующие типы микрометров:

МК – гладкие для измерения наружных размеров;

МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент;

МТ – трубные для измерения толщины стенок труб;

МЗ – зубомерные для измерения длины общей нормали зубчатых колес;

МВМ, МВТ, МВП – микрометры со вставками для измерения различных резьб и деталей из мягких материалов;

МР, МРИ – микрометры рычажные;

МВ, МГ, МН, МН2 – микрометры настольные.

Кроме перечисленных типов микрометров выпускаются микрометрические нутромеры (ГОСТ 10-75 и ГОСТ 17215-71) и микрометрические глубиномеры (ГОСТ 7470-78 и ГОСТ 15985-70).

Практически все выпускаемые микрометры имеют цену деления 0,01 мм. Исключение составляют микрометры рычажные МР, МРЗ и МРИ, имеющие цену деления 0,002 мм. Диапазоны измерений гладких микрометров зависят от размеров скобы и составляют: 0-25, 25-50, ..., 275-300, 300-400, 400-500, 500-600 мм

На рис.1,а,б показаны конструкция и схема гладкого микрометра. В отверстиях скобы 1 запрессованы с одной стороны неподвижная измерительная пятка 2, а с другой - стебель 5 с отверстием, которое является направляющей микрометрического винта 4. Микрометрический винт 4 ввинчивается в микрогайку 7, имеющую разрезы и наружную резьбу. На эту резьбу навинчивают специальную регулировочную гайку 8, которая сжимает микрогайку 7 до полного выбора зазора в соединении «микровинт-микрогайка». Это устройство обеспечивает точное осевое перемещение винта относительно микрогайки в зависимости от угла его поворота. За один оборот торец винта перемещается в осевом направлении на расстояние, равное шагу резьбы, т. е. на 0,5 мм. На микрометрический винт надевается барабан 6, закрепляемый установочным кол-

пачком-гайкой 9. В колпачке-гайке смонтирован специальный предохранительный механизм 12, соединяющий колпачок-гайку 9 и трещотку 10, за нее и необходимо вращать барабан 6 при измерениях. Предохранительный механизм-трещотка, состоящий из храпового колеса, зуба и пружины, в случае превышения усилия между губками 500-900 сН отсоединяет трещотку 10 от установочного колпачка 9 и барабана 6, и она начинает проворачиваться с характерным пощелкиванием. При этом микрометрический винт 4 не вращается. Для закрепления винта 4 в требуемом положении микрометр снабжен стопорным винтом 11.

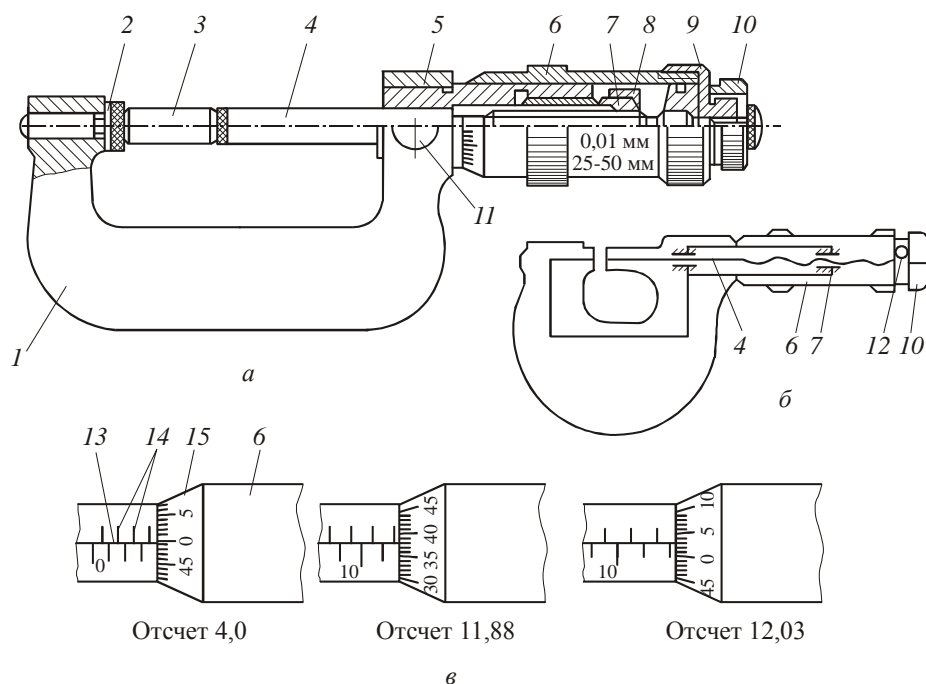


Рис.1

На стебле 5 микрометра нанесена шкала 14 с делениями через 0,5 мм. Для удобства отсчета четные штрихи нанесены выше, а нечетные - ниже сплошной продольной линии 13, которая используется для отсчета углов поворота барабана. На коническом конце барабана нанесена круговая шкала 15, имеющая 50 делений. Если учесть, что за один оборот барабана с пятьюдесятью делениями торец винта и срез барабана перемещают на 0,5 мм, то поворот барабана на одно деление вызовет перемещение торца винта, равное 0,01 мм, т.е. цена деления на барабане 0,01 мм.

При снятии отсчета пользуются шкалами на стебле и барабане. Срез барабана является указателем продольной шкалы и регистрирует показания с точностью 0,5 мм. К этим показаниям прибавляют отсчет по шкале барабана (рис.1,в).

Перед измерением следует проверить правильность установки на нуль. Для этого необходимо за трещотку вращать микровинт до соприкосновения измерительных поверхностей пятки и винта или соприкосновения этих поверхностей с установочной мерой 3 (рис.1,а).

Вращение за трещотку *10* продолжают до характерного пощелкивания. Правильной считается установка, при которой торец барабана совпадает с крайним левым штрихом шкалы на стебле и нулевой штрих круговой шкалы барабана совпадает с продольной линией на стебле. В случае их несовпадения необходимо закрепить микровинт стопором *11*, отвернуть на пол-оборота установочный колпачок-гайку *9*, повернуть барабан в положение, соответствующее нулевому, закрепить его колпачком-гайкой, освободить микровинт. После этого следует еще раз проверить правильность «установки на нуль».

К микрометрическим инструментам относятся также микрометрический глубиномер и микрометрический нутромер.

Микрометрический глубиномер (рис.2,*а*) состоит из микрометрической головки *1*, запрессованной в отверстие основания *2*. Торец микровинта этой головки имеет отверстие, куда вставляют разрезными пружинящими концами сменные стержни *3* со сферической измерительной поверхностью. Сменные стержни имеют четыре размера: 25; 50; 75 и 100 мм. Размеры между торцами стержней выдержаны очень точно. Измерительными поверхностями в этих приборах являются наружный конец сменного стержня *3* и нижняя опорная поверхность основания *2*. При снятии отсчета необходимо помнить, что основная шкала, расположенная на стебле, имеет обратный отсчет (от 25 мм до 0).

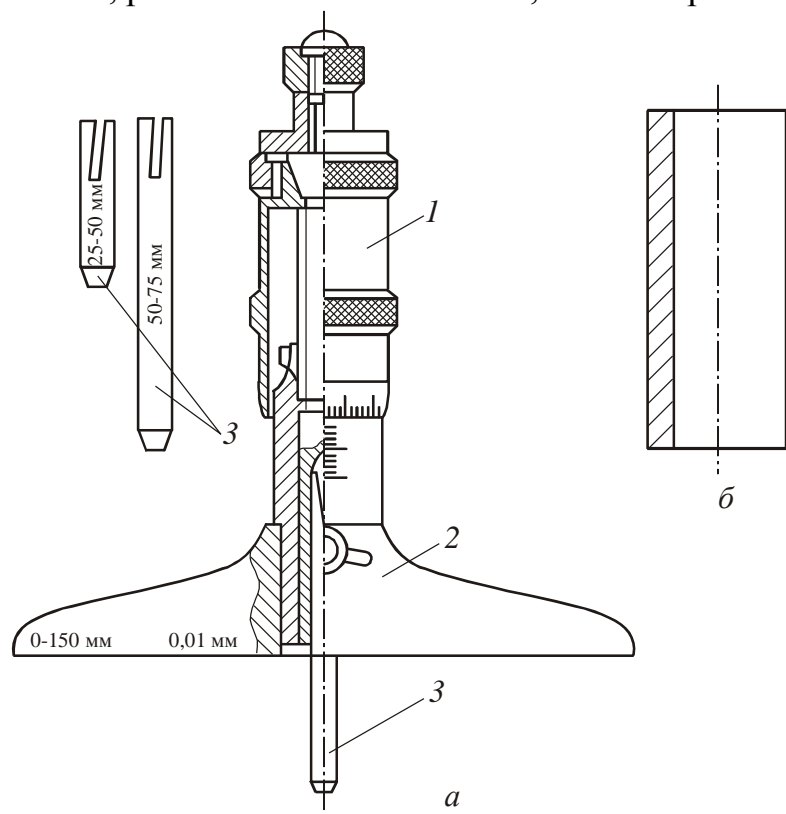


Рис.2

Для настройки глубиномера опорную поверхность основания прижимают к торцу специальной установочной меры (рис.2,*б*), которую ставят на поверочную плиту. Микровинт со вставкой с помощью трещотки доводят до контакта с плитой, фиксируют его стопором и далее производят те же операции, что и при настройке на нуль микрометра.

Измерение глубины отверстий, уступов, выточек и т.д. выполняют следующим образом. Опорную поверхность основания микрометрического глубиномера устанавливают на базовую поверхность детали, относительно которой измеряется размер. Одной рукой прижимают основание к детали, а другой вращают за трещотку барабан микрометрической головки до касания стержня с измеряемой поверхностью и пощелкивания трещотки. Затем фиксируют стопором микро-

винт и снимают отсчет со шкал головки. Микрометрические глубиномеры имеют пределы измерений от 0 до 150 мм и цену деления 0,01 мм.

Микрометрические нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров изделий в диапазоне от 50 до 6000 мм.

Они состоят из микрометрической головки (рис.3,*а*), сменных удлинителей (рис.3,*б*) и измерительного наконечника (рис.3,*в*).

Микрометрическая головка нутромера несколько отличается от головки микрометра и глубиномера и не имеет трещотки. В стебель 6 микрометрической головки с одной стороны запрессован измерительный наконечник 7, а с другой ввинчен микровинт 5, который соединен с барабаном 4 гайкой 2 и контргайкой 1. Наружу выступает измерительный наконечник микровинта 5.

Зазор в соединении винт-гайка выбирается с помощью регулировочной гайки 3, навинчиваемой на разрезную микрогайку с наружной конической резьбой. Установленный размер фиксируется стопорным винтом 9. Для расширения пределов измерения в резьбовое отверстие муфты 8 ввинчиваются удлинители (рис.3,*б*) и измерительный наконечник (рис.3,*в*).

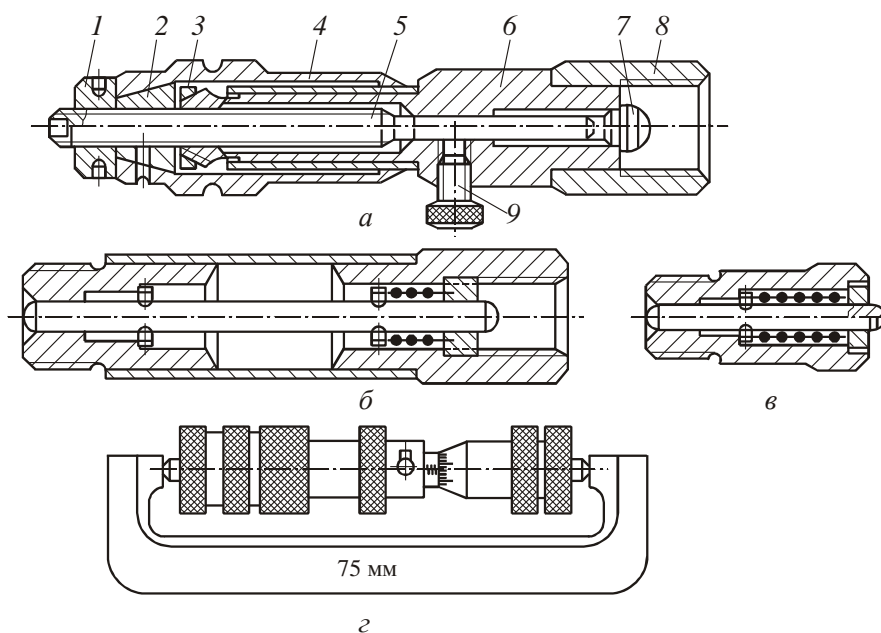


Рис.3

Удлинитель представляет собой стержень со сферическими измерительными поверхностями, имеющий точный размер в осевом направлении. Стержень не выступает за пределы корпуса, на обоих концах которого нарезана резьба. Пружина, расположенная внутри корпуса, создает силовое замыкание стержней между собой при свинчивании удлинителя с микрометрической головкой. На свободный конец удлинителя может быть навинчен другой удлинитель и т. д. до получения нутромера с требуемым пределом измерения. В последний удлинитель ввинчивается измерительный наконечник. В процессе измерения с деталью соприкасаются измерительный наконечник микровинта и измерительный наконечник удлинителя. При использовании нутромера с несколькими удлинителями необходимо помнить, что удлинители следует соеди-

нять в порядке убывания их размеров и микрометрическую головку соединить с самым длинным из них.

Микрометрический нутромер в сборе с измерительным наконечником устанавливают на нуль по установочной мере-скобе размером 75 мм (рис.3,2). В случае неудовлетворительной настройки нуля ослабляют на пол-оборота контргайку 1, поворачивают барабан до совпадения нулевой риски с продольной линией стебля, затягивают контргайку 1 и отпускают винт 9. Затем проверяют правильность установки. После настройки нутромера на нуль его свинчивают с удлинителями для получения требуемого размера и приступают к измерениям.

Измерения внутренних размеров нутромером осуществляют следующим образом. Вводят инструмент в пространство между измерительными поверхностями (например, в отверстие). Устанавливают один измерительный наконечник нутромера на поверхность и вращают барабан головки до касания второго измерительного наконечника противоположной поверхности. В процессе измерения необходимо не только вращать барабан, но еще и покачивать собранный нутромер, измеряя диаметр в плоскости, перпендикулярной к оси отверстия и в плоскости осевого сечения. Наибольший размер в первом положении и наименьший размер во втором положении должны совпадать.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Конструкция и метрологические характеристики гладкого микрометра. Как читаются показания микрометра при измерениях?
3. Эскиз детали с действительными размерами.
4. Оценка годности деталей.

Контрольные вопросы

1. Виды микрометрических инструментов.
2. Устройство микрометров.
3. Как снимать показания микрометра? Настройка микрометра на нуль.
4. Для чего служит трещотка?
5. Устройство микрометрического глубиномера.
6. Устройство микрометрического нутромера.

Литература

1. Марков Н.Н., Ганевский Г.М. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов. – М.:Машиностроение, 1993.
2. Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник. – М.:Машиностроение, 1987.
3. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения. – М.:Машиностроение, 1980.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИНДИКАТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ

Цель работы

1. Изучить устройство, принцип действия и метрологические характеристики индикатора часового типа и индикаторных приборов.
2. Получить навыки самостоятельной работы с приборами, измерив детали индикаторной скобой и индикаторным нутромером.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ С ЗУБЧАТЫМ МЕХАНИЗМОМ ИЛИ ИНДИКАТОРЫ ЧАСОВОГО ТИПА

Измерительными головками называются отсчетные устройства, преобразующие малые перемещения измерительного стержня в большие перемещения стрелки по шкале (индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые индикаторы, многооборотные индикаторы, рычажно-зубчатые головки).

В качестве отдельного измерительного устройства головки использоваться не могут и для измерения их устанавливают на стойках, штативах или оснащают приборы и контрольно-измерительные приспособления.

Измерительные головки предназначены в основном для относительных измерений. Если размеры деталей меньше диапазона показаний прибора, то измерения могут быть выполнены абсолютным методом.

Наиболее распространенными измерительными головками с зубчатой передачей являются индикаторы часового типа.

Принцип действия индикатора часового типа состоит в следующем (рис.1):

Измерительный стержень *1* перемещается в точных направляющих втулках. На стержне нарезана зубчатая рейка, находящаяся в зацеплении с трибом *4* ($z=16$). Трибом в приборостроении называют зубчатое колесо малого модуля с числом зубьев $z \leq 18$. На одной оси с трибом *4* установлено зубчатое колесо *3* ($z=100$), которое передает вращение трибу *2*

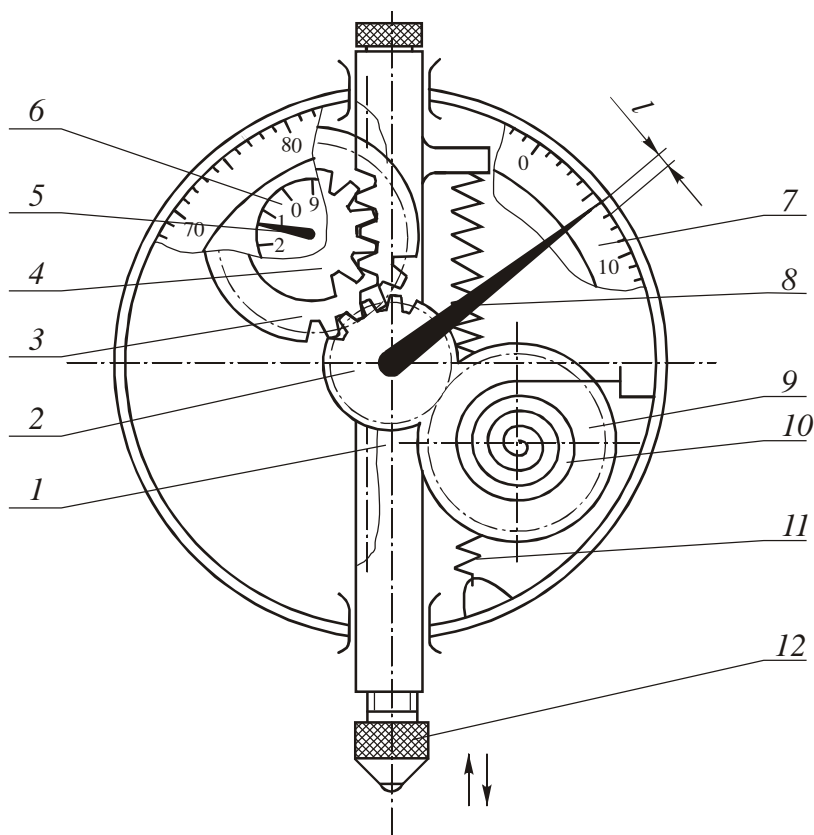


Рис.1. Индикатор часового типа ИЧ-10

($z=10$). На одной оси триба 2 закреплена большая стрелка 8, которая движется по шкале 7, отсчитывая десятые и сотые доли миллиметра перемещения измерительного стержня с наконечником 12.

При перемещении измерительного стержня в диапазоне показаний большая стрелка совершает несколько оборотов, поэтому в конструкции индикатора часового типа установлена дополнительная стрелка 5 на оси триба 4 и колеса 3. При перемещении измерительного стержня на 1 мм большая стрелка 8 совершает один оборот, а стрелка 5 перемещается на одно деление малой шкалы 6.

Число делений малой шкалы определяет диапазон показаний индикаторов часового типа в мм.

С трибом 2 находится в зацеплении второе зубчатое колесо 9 ($z=100$). К оси этого колеса одним концом присоединена спиральная пружина 10, второй конец которой закреплен в корпусе индикатора. Пружина обеспечивает работу зубчатых колес в режиме однопрофильного зацепления, уменьшая тем самым влияние зазоров в зубчатых парах на погрешность измерений.

В индикаторе часового типа предусмотрена винтовая пружина 11, один конец которой укреплен на измерительном стержне, а другой – на корпусе индикатора. Эта пружина создает измерительное усилие на стержне $P=150\pm 60$ сН.

Все индикаторы часового типа имеют цену деления большой шкалы равную 0,01 мм. Большинство индикаторов имеет диапазон показаний 2 мм (ИЧ-2), 5 мм (ИЧ-5), 10мм (ИЧ-10) и реже выпускаются индикаторы с диапазоном показаний 25 мм (ИЧ-25) и 50 мм (ИЧ-50).

Погрешность измерений индикатором часового типа зависят от перемещения измерительного стержня. Так в диапазоне показаний 1÷2 мм погрешность измерения находится в пределах 10÷15 мкм, а в диапазоне 5÷10мм погрешность находится в пределах 18÷22 мкм.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДИКАТОРОМ ЧАСОВОГО ТИПА

Индикатор 1 крепится на индикаторной стойке 2 винтом 3 (рис.2,а). Ослабляя винт 5, опускаем индикатор до касания наконечником измерительного столика 4, после чего опускаем дополнительно еще на 1...2 мм (создаем «натяг»). Фиксируем это положение затягиванием винта 5. Поворачиваем за ободок 6 круговой шкалы индикатора до совмещения «0» шкалы с большой стрелкой. Записываем показания индикатора (например, 1,00 мм при натяге 1 мм).

Не изменяя положение корпуса индикатора, поднимаем измерительный наконечник и кладем на измерительный столик деталь. Отпускаем стержень (рис.2,б) и записываем показание индикатора (например, 2,15 мм) Разница между показанием индикатора при измерении и при настройке дает значение перемещения стержня относительно столика при измерении ($b=2,15-1,00=1,15$ мм). Это и будет размер b . Таким способом производят измерения абсолютным методом.

В тех случаях, когда размер детали больше диапазона показаний прибора, пользуются относительным методом. Для этого определяем приблизительно

размер детали (например, около 42 мм), набираем блок из плоскопараллельных концевых мер длины (тоже 42 мм) настраиваем прибор на «0» относительно плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД) (рис.2,в) аналогично настройке при абсолютном методе. Записываем показания индикатора (например, 1,00 мм), убираем блок ПКМД и ставим деталь. Записываем показания индикатора (например, 2,15 мм). Определяем перемещение стержня при измерении относительно ПКМД ($\Delta=2,15-1,00=1,15$ мм) (рис.2,г). Действительный размер детали $d=ПКМД+\Delta$ (например, $d=42+1,15=43,15$ мм). При сложении необходимо учитывать знак относительного перемещения: если размер детали окажется меньше блока ПКМД, то Δ получится отрицательным. Например, если индикатор показывал при настройке 1,00 мм, а при измерении 0,42 мм, то $\Delta=0,42-1,00=-0,58$ мм.

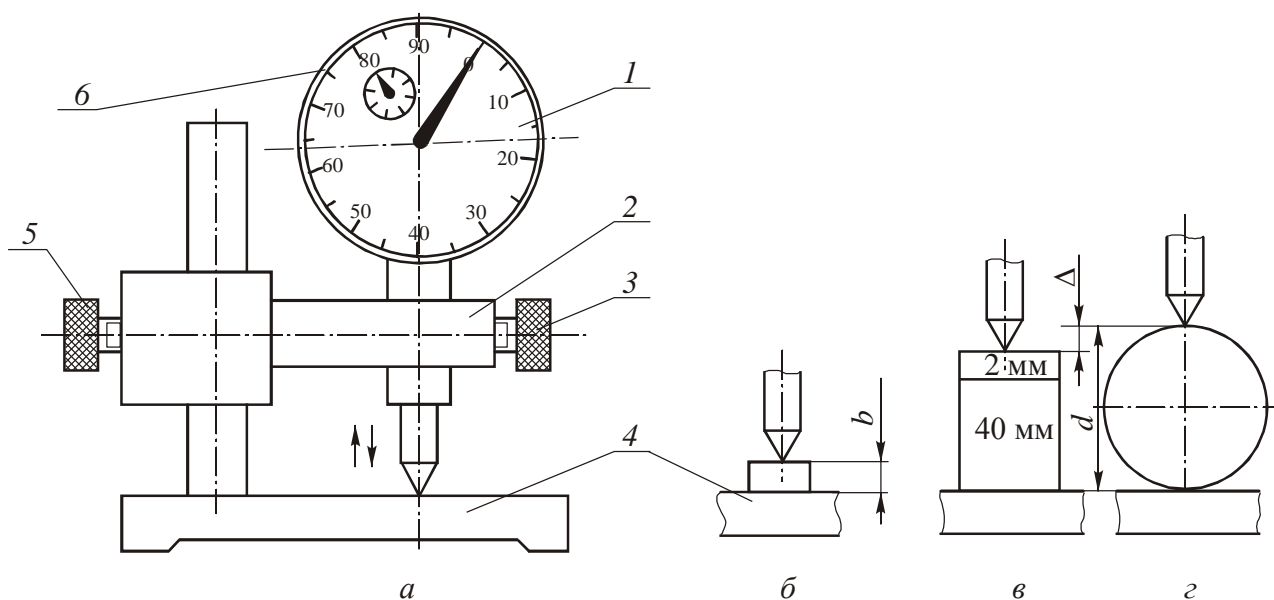


Рис.2. Измерение индикатором

Относительным методом пользуются и в тех случаях, когда необходимо уменьшить погрешность измерения, т.е. уменьшить измерительное перемещение с тем, чтобы избавиться от накапливающейся погрешности прибора.

ИНДИКАТОРНАЯ СКОБА

В корпусе скобы (рис.3) установлены индикатор часового типа, подвижная пятка 2 и сменная переставная пятка 3.

Подвижная пятка 2 постоянно отжимается в сторону изделия измерительным стержнем индикатора и специальной пружины. Переставная пятка 3 при освобожденном винте 4 и снятом колпачке может перемещаться в пределах до 50 мм. Диапазоны измерений индикаторных скоб составляют: 0÷50 мм, 50÷100 мм, 100÷200 мм, ..., 600÷700 мм, 700÷ 850 мм, 850÷1000 мм.

Основная погрешность прибора (в зависимости от типоразмера скобы) изменяется от 5 до 20 мкм.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДИКАТОРНОЙ СКОБОЙ

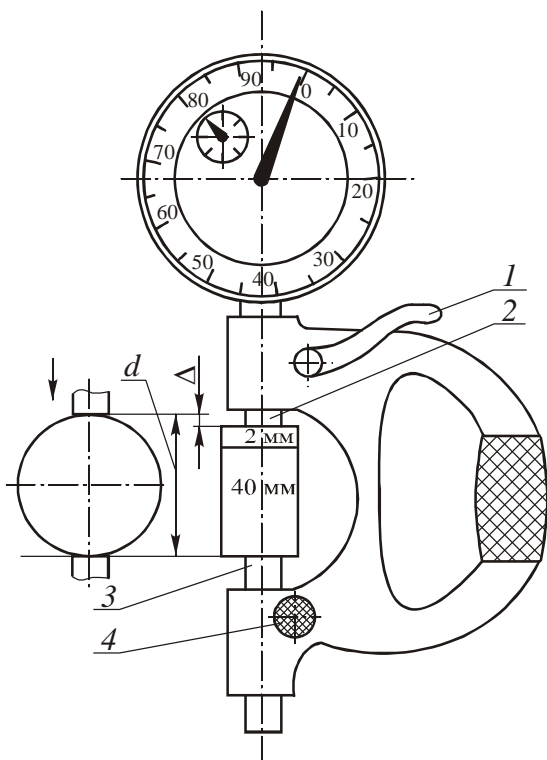


Рис.3. Индикаторная скоба

1. Измеряем штангенциркулем деталь. Например, получаем размер $d=42,15$ мм.

2. Набираем блок плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД= $40+2=42$ мм)

3. Ослабляем винт 4, ставим блок ПКМД между подвижной пяткой 2 и переставной пяткой 3 (рис.3). Перемещением пятки 3 создаем натяг 1...2 мм по шкале индикатора. Закрепляем винтом 4 положение переставной пятки 3. Поворачиваем шкалу индикатора до совмещения «0» деления с большой стрелкой. Записываем показание индикатора при настройке (индикатор при настройке 1,00 мм).

4. Убираем блок ПКМД, отводим подвижную пятку 2 нажатием на ручку арретира 1 и ставим измеряемую деталь. Записываем показания индикатора (индикатор при измерении 1,18 мм).

5. Определяем относительное перемещение (относительное перемещение $\Delta=1,18-1,00=0,18$ мм).

6. Рассчитываем действительный размер детали ($d=ПКМД+\Delta=42+0,18=42,18$).

ИНДИКАТОРНЫЙ НУТРОМЕР

Индикаторные нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров и диаметров отверстий относительным методом.

Наиболее часто применяют нутромеры типоразмеров из следующего ряда диапазонов измерения: 6-10; 10-18; 18-50; 50-100; 100-160; 160-250; 250-450; 450-700; 700-1000 мм.

Устройство и работу индикаторных нутромеров рассмотрим на примере нутромера модели НИ-100 (рис.4).

В корпусе нутромера вставлена втулка-вставка 2, в которую с одной стороны ввернут сменный неподвижный измерительный стержень 3, а с другой стороны находится подвижный измерительный стержень 4, воздействующий на двухплечий рычаг 5, закрепленный на оси 6.

Внутри корпуса размещен шток 8, поджимаемый к рычагу 5 измерительным стержнем индикатора часового типа и спиральной пружиной 10. Последние создают измерительное усилие в пределах от 200 до 500 сН.

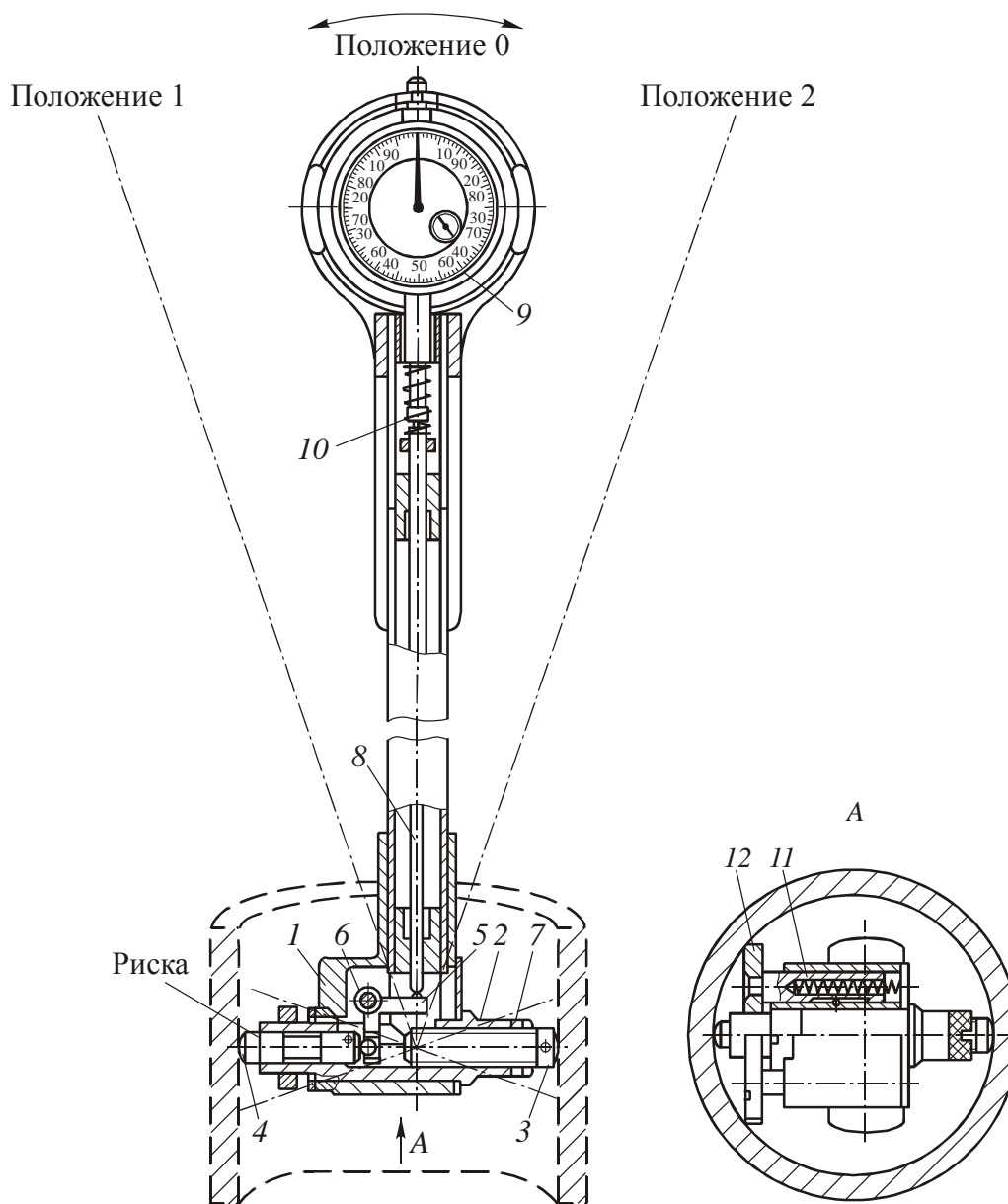


Рис.4.

В пределах диапазона измерений нутромеры снабжаются комплектом сменных измерительных стержней. Положение неподвижного измерительного стержня после настройки фиксируется гайкой 7. Подвижный измерительный стержень 4 под воздействием измерительного усилия находится в крайнем исходном положении. Центрирующий мостик 12, поджимаемый двумя пружинами 11 к поверхности контролируемого отверстия, обеспечивает совмещение линии измерения с диаметром отверстия.

Настройку нутромера на требуемый номинальный размер осуществляют по блокам ПКМД с боковиками, установленными в державках-струбцинах, или

по аттестованным кольцам. Погрешность нутромеров обычно нормируется равной $1,5 \div 2,5$ цены деления отсчетной головки.

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫМ НУТРОМЕРОМ.

Подсчитать по номинальному размеру отверстия измеряемой детали номинальные размеры ПМКД. Подготовить установочный комплект (рис.5) из блока ПМКД, двух боковиков 2 и струбцины 1. Из комплекта сменных регулируемых стержней (прилагаются к нутромеру) выбрать стержень с диапазоном размеров, в котором находится номинальный размер измеряемого отверстия. Ввинтить сменный регулируемый стержень 3 в корпус нутромера 5.

Ввести нутромер измерительными стержнями в установочный комплект между боковиками и создать для индикатора часового типа натяг $1 \div 2$ мм (рис.5).

Покачивая нутромер от себя на себя, поворачивая его влево - вправо вокруг вертикальной оси, нужно установить ось измерительных стержней (ось измерения) в положение, совпадающее с наименьшим расстоянием между измерительными поверхностями боковиков. Это положение покажет большая стрелка индикатора, когда дойдет до самого дальнего (при ее движении по часовой стрелке) деления шкалы и начнет движение обратно. Придав правильное положение индикатору, нужно зажать контргайку 4 сменного измерительного стержня 3 и установить нулевое деление шкалы индикатора до совпадения с большой стрелкой.

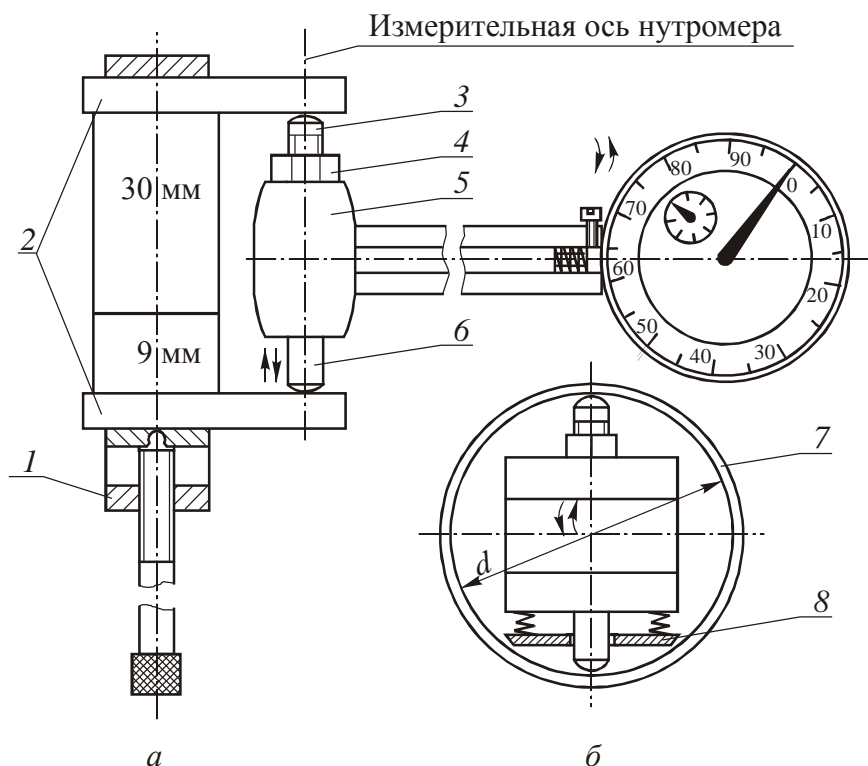


Рис.5. Индикаторный нутромер при настройке (а) (центрирующий мостик не показан) и при измерении (б)

После настройки нутромера на «0» можно приступить к измерению отклонений размера отверстия детали от номинала.

Вводим в отверстие измеряемой детали измерительную головку нутромера. Подпружиненный центрирующий мостик δ ориентирует измерительную ось нутромера строго в диаметральной плоскости измеряемого отверстия (рис.5, б).

Покачивая нутромер в вертикальной плоскости, определяем показания индикатора при крайнем правом положении большой стрелки.

При определении действительных отклонений размеров отверстий от номинала руководствуются следующим правилом: отклонение принимают со знаком минус («-»), если большая стрелка индикатора отклонилась от «0» деления шкалы по часовой стрелке, а отклонение против часовой стрелки показывает увеличение диаметра отверстия от номинального размера и действительное отклонение принимают со знаком плюс («+»).

Значение действительного отклонения подсчитывают умножением числа делений шкалы индикатора (указанное большой стрелкой от «0») на цену деления 0,01 мм.

Действительный размер диаметра отверстия будет равен номинальному диаметру отверстия плюс («+») или минус («-») действительное отклонение.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Виды индикаторных приборов, используемых в работе и их метрологические характеристики. Метод измерения.
3. Эскизы измеряемых деталей с действительными размерами.
4. Оценка годности деталей.

Контрольные вопросы

1. Конструкция индикаторов часового типа.
2. Метрологические характеристики индикаторных приборов. Метод измерения.
3. Как читают показания при измерениях индикаторными приборами?
4. Индикаторная скоба. Настройка скобы для измерений.
5. Как называется величина, которую фиксирует прибор?
6. Индикаторный нутромер. Настройка нутромера.
7. Измерение нутромером.

Литература

1. Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник. – М.:Машиностроение, 1987.
2. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения. – М.:Машиностроение, 1980.

ИЗМЕРЕНИЕ КАЛИБРА-ПРОБКИ

Цель работы

1. Изучить устройство, принцип действия и метрологические характеристики пружинных измерительных головок ИГП – микрокаторов (ГОСТ 6933-81).
2. Получить навыки самостоятельной работы с приборами для точных измерений относительным методом.
3. Научиться строить схемы полей допусков на калибры.
4. Измерить калибр-пробку с помощью ИГП, установленной на стойке С-1 или С-2.
5. Определить годность калибра-пробки.

ПРУЖИННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ-МИКРОКАТОРЫ

Эти приборы относятся к точным измерительным приборам с механическим преобразованием малых перемещений измерительного наконечника в большие перемещения стрелки относительно шкалы прибора. Эта группа приборов получила название «пружинных», так как в качестве чувствительного элемента используется завитая от середины в разные стороны пружина из тонкой бронзовой ленты.

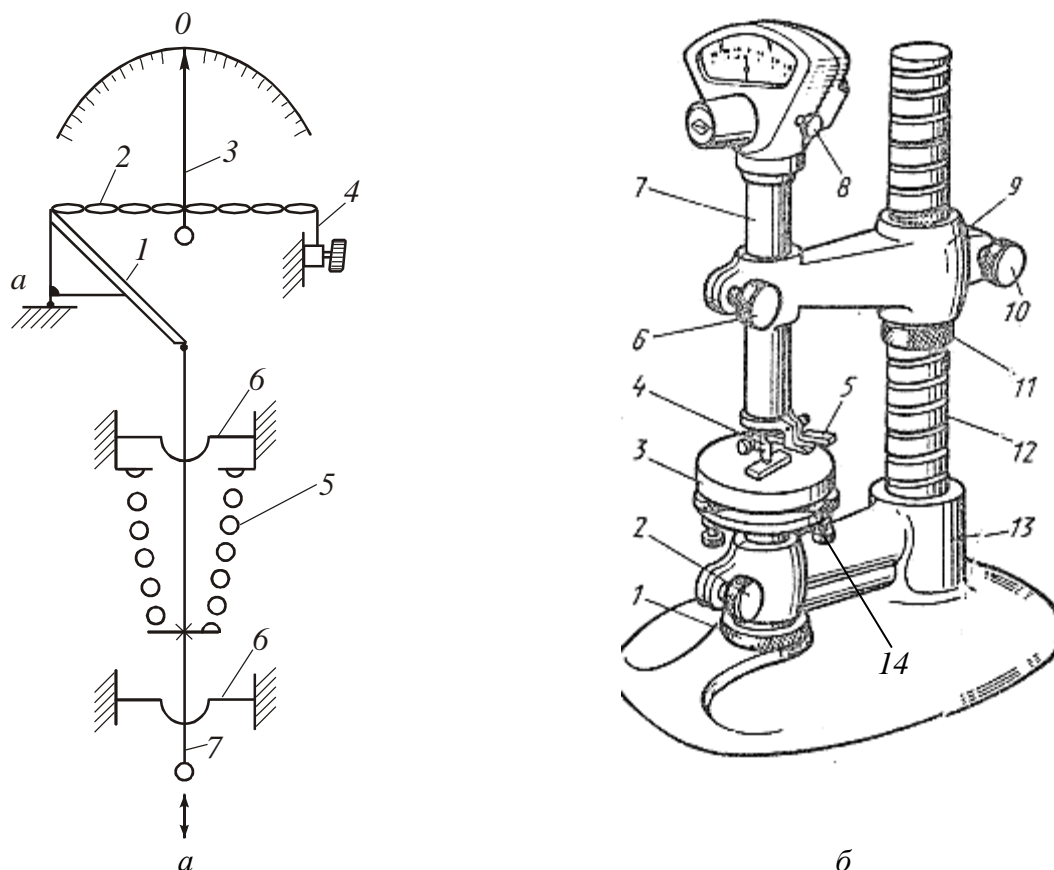


Рис.1.

Ленточная пружина 2 закреплена на угольнике 1 и консольной плоской пружине 4, установленной на жестком выступе (рис.1,а). Изменяя положение пружины 4, с помощью винтов регулируют натяжение ленточной пружины. Измерительный стержень 7 подвешен на мембранах 6 и жестко связан с угольником 1. Перемещение измерительного стержня вызывает поворот угольника вокруг точки «а» и растяжение пружины 2. Измерительное усилие создается конической пружиной 5. К средней части бронзовой закрученной ленты приклеена кварцевая стрелка 3. Растяжение пружины 2 вызывает поворот стрелки 3 относительно шкалы.

Пружинные измерительные головки применяют для высокоточных относительных измерений размеров изделий, а также отклонений формы и расположения поверхностей. Точность контролируемых изделий может быть от 2^{го} до 6^{го} квалитета.

Для измерений приборы крепятся в стойках (рис.1,б) типа С-1 и С-2 или в специальных приспособлениях за трубку 7 диаметром 28 мм. При настройке на нулевое положение по блоку концевых мер используется микроподача стола стойки.

Во время транспортировки измерительный стержень зажимается поворотом фиксатора в основание трубки.

Пружинные измерительные головки выпускаются следующих модификаций: 01ИГП; 02ИГП; 05ИГП; 1ИГП; 2ИГП; 5ИГП; 10ИГП и имеют цену деления шкалы прибора соответственно: 0,0001; 0,0002; 0,0005; 0,001; 0,002; 0,005; и 0,01 мм.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить устройство, принцип измерения и метрологические характеристики микрокатера на стойке С-1 или С-2. Записать в отчет основные метрологические характеристики прибора (цена деления шкалы прибора, диапазон измерения по шкале прибора).

2. Получить у преподавателя калибр-пробку для измерений.

3. По маркировке на калибре определить, для проверки какого отверстия он предназначен (номинальный диаметр отверстия, отклонение поля допуска отверстия и квалитет).

4. По ГОСТ-25347-82 (СТ СЭВ 144-75) определить предельные отклонения размера отверстия, а затем построить схему расположения поля допуска отверстия (рис.2)

5. По ГОСТ-24853-81 (СТ СЭВ 157-75) для заданного калибра-пробки найти допуски, предельные отклонения и построить схему расположения поля допуска на калибр.

6. Подсчитать предельные размеры калибра и проставить эти размеры на схему.

7. Выбрать по схеме размер, относительно которого прибор настраивается на ноль с помощью концевых мер длины.

8. Из набора плоскопараллельных концевых мер длины взять меру или несколько мер для составления блока, размер которых равен размеру, выбранному по схеме.

9. Концевые меры, столик прибора промыть бензином, протереть мягкой тканью. Протертые меры притереть друг к другу и к столику.

10. Настроить прибор на нуль. Для этого (рис.1,б), освободив стопорный винт 2 столика 3 вращением микрометрической гайки 1, опускается предметный столик с притертым блоком концевых мер в нижнее положение. Затем, освободив стопорный винт 10 кронштейна 9, вращением кольца-гайки 11 опускается кронштейн 9 с микрокатором до касания наконечника с поверхностью концевой меры или блока. О моменте касания судят по началу движения стрелки. В этом положении кронштейн 9 стопорится винтом 10.

Внимание!!!

Кронштейн следует опускать плавно, не допуская удара наконечника о концевую меру!
Нельзя трогать регулировочные винты 14 столика, так как это нарушит установку столика

Окончательная установка прибора на нуль осуществляется при помощи гайки 1; столик 3 поднимается до тех пор, пока стрелка микрокатора не совместится с нулевым делением шкалы. В этом положении стол стопорится винтом 2 и проверяется установка на нуль путем подъема и опускания измерительного наконечника 4 с помощью арретира 5.

Точная установка прибора на нуль осуществляется винтом 8, который может сместить шкалу относительно стрелки в пределах ± 5 делений.

11. Нажав на арретир, поднять измерительный наконечник и убрать концевую меру или блок (блок концевых мер не разбирать).

12. Поместить на предметный столик калибр-пробку и, плотно прижимая калибр двумя пальцами к столику, медленно прокатывать его под наконечником и следить за движением стрелки. Наибольшее отклонение стрелки в «плюс» или «минус» по шкале определяет действительное отклонение размера пробки в данном сечении относительно настроечного размера концевой меры или блока. Чтобы убедиться в правильности полученного отклонения, измерения повторяют два-три раза. Каждый раз должна быть четкая повторяемость показаний приборка. Такие измерения следует провести в трех сечениях по длине пробки и в двух плоскостях (рис.3). Результаты измерений занести в таблицу отчета.

13. Определить действительные размеры пробки в контролируемых сечениях, которые равны алгебраической сумме размера концевой меры или блока и показания прибора. Результат занести в таблицу отчета.

14. Проверить нулевое показание прибора. Для этого, нажав на арретир, убирается со столика калибр и под измерительный наконечник вновь устанавли-

ливается концевая мера или блок. Приподнимая и опуская два-три раза нако-
нечник, убеждаются в установке стрелки на ноль.

Отклонения стрелки от нулевого штриха не должно превышать половины
деления шкалы прибора, если отклонение больше, то нужно повторить
настройку прибора на ноль и измерения калибра.

Полученные данные по результатам измерений заносятся в отчет.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Название измерительного прибора и его основные метрологические ха-
рактеристики (пределы измерения по шкале прибора, цена деления шкалы).
3. Тип калибра, который контролируется, и его маркировка.
4. Схема полей допусков на изделие и калибр с простановкой предельных
размеров в мм и отклонений в мкм (рис.2).

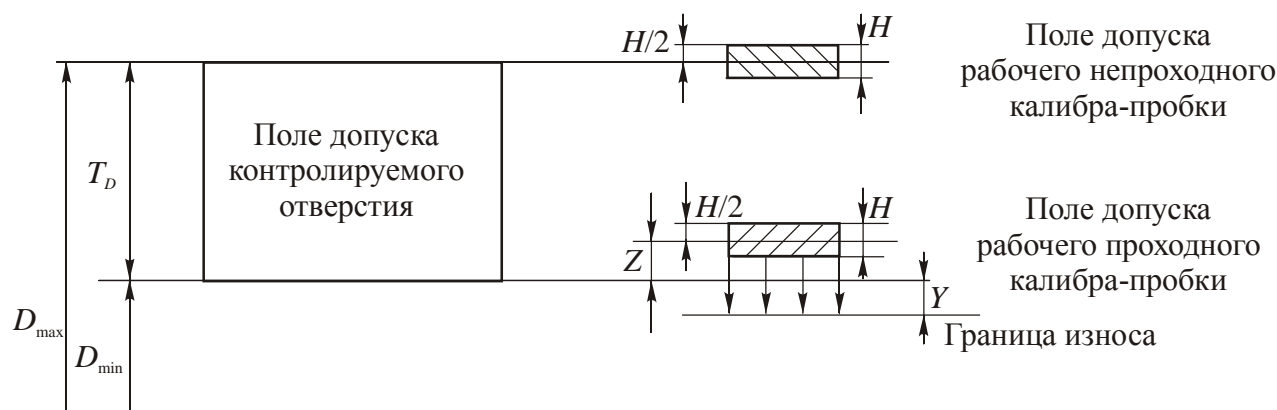


Рис.2

5. Выбор концевой меры или блока концевых мер для настройки прибора
на ноль.

6. Схема измерений калибра (рис.3) и результаты измерений с заполнени-
ем таблицы.

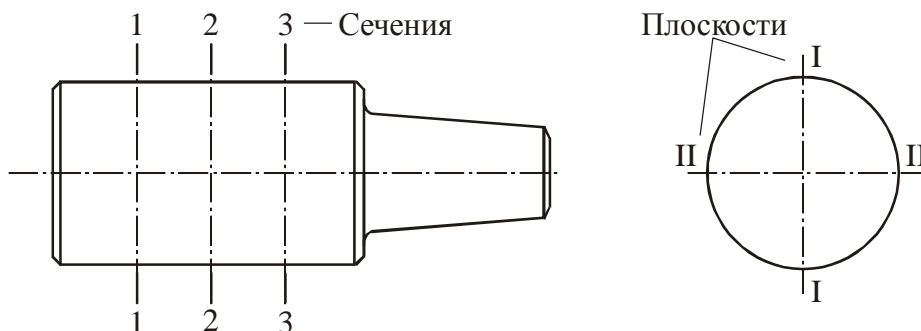


Рис.3.

Результаты измерений

Размеры концевой меры или блока			Проходная сторона Р-ПР			Непроходная сторона Р-НЕ		
			Сечения			Сечения		
			1	2	3	1	2	3
Показания прибора в мкм	Плоскость	I-I						
		II-II						
Действительные размеры калибра в мм	Плоскость	I-I						
		II-II						

7. Заключение о годности калибра.

Контрольные вопросы

1. Устройство, принцип действия и метрологические характеристики пружинных головок-микрокаторов.
2. Какую область применения имеют микрокаторы.
3. Метод измерения и настройка микрокатора для измерений.
4. Как располагаются на схемах поля допусков гладких предельных калибров-пробок и калибров-скоб?
5. Почему для оценки годности калибра-пробки надо пользоваться измерительными приборами типа микрокатор?
6. Как формулируется заключение о годности калибра?

Литература

1. Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник. – М.:Машиностроение, 1987.
2. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения. – М.:Машиностроение, 1980.

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы

1. Изучить основные параметры шероховатости и обозначение шероховатости на чертежах.
2. Познакомиться со способами измерения и приборами для оценки шероховатости поверхности деталей машин.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Шероховатостью поверхности называют совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенную с помощью базовой длины (ГОСТ 25142-82).

Базовая длина l - длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Числовые значения шероховатости поверхности определяют от единой базы, за которую принята средняя линия профиля m , т. е. базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально. Длина оценки l_n - длина, на которой оценивается реальный профиль. Она может содержать одну или несколько базовых длин l (рис. 1).

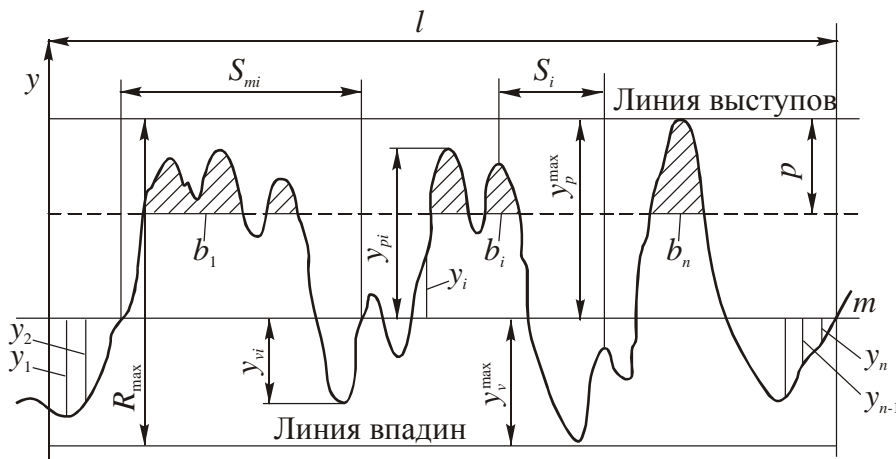


Рис. 1. Профилограмма и основные параметры шероховатости поверхности

НОРМИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШЕРОХОВАТОСТИ

Параметры шероховатости в направлении высоты неровностей. Среднее арифметическое отклонение профиля Ra - среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \text{ или приближенно } Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где l — базовая длина; n — число выбранных точек профиля на базовой длине; y — расстояние между любой точкой профиля и средней линией. Нормируется от 0,008 до 100 мкм.

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:

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

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 . Нормируются от 0,025 до 100 мкм.

Параметры шероховатости в направлении длины профиля. Средний шаг неровностей профиля S_m — среднеарифметический шаг неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

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. Нормируется от 0,002 до 12,5 мм.

Средний шаг местных выступов профиля S — среднеарифметический шаг местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где n — число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины l ; S_i — шаг неровностей профиля по вершинам выступов. Нормируется от 0,002 до 12,5 мм.

Числовые значения параметров шероховатости Ra , Rz , R_{max} , S_m и S приведены в ГОСТ 2789-73, а в Приложении 1 указаны значения базовой длины l , рекомендуемые для параметров Ra , Rz , R_{max} .

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 $m-m$ и в пределах базовой длины (рис. 1).

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

$$t_p = \eta_p / l \cdot 100\%.$$

Опорную длину профиля η_p определяют на уровне сечения профиля p , т.е. на заданном расстоянии между линией выступов профиля и линией, пере-

секающей 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 назначается из ряда 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90%.

Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации в ГОСТ 2.309-73 «Обозначения шероховатости поверхностей» внесены изменения и установлен срок введения изменений – с 1 января 2005 г.

Изменения касаются как обозначения шероховатости поверхностей, так и правил их нанесения на чертеж.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 2.309 полностью соответствует стандарту ИСО 1302.

1. Обозначение шероховатости поверхностей

Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия, независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

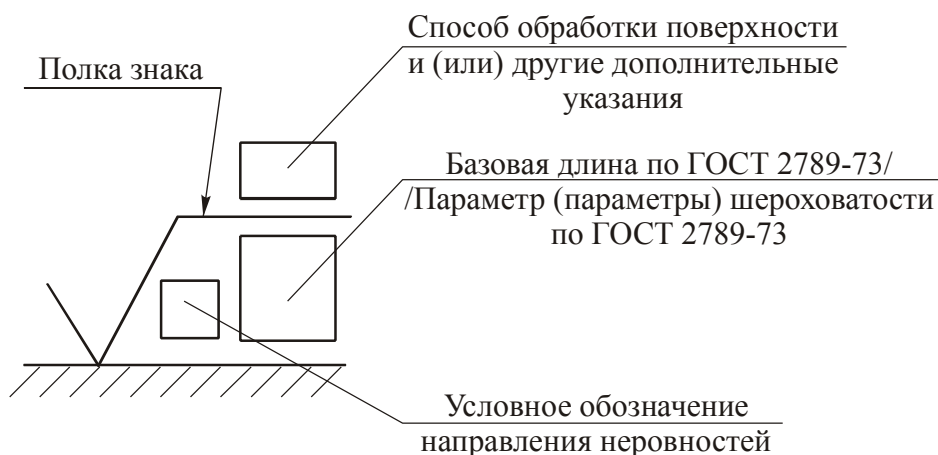


Рис.2.

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис.2. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.

В обозначении шероховатости поверхности применяют один из

знаков, изображенных на рис.3. Высота h должна быть приблизительно равна применяемой на чертеже высоте цифр размерных чисел. Высота H равна $(1,5 \dots 5)h$. Толщина линий знаков должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии, применяемой на чертеже. В обозначении шероховатости поверхности, способ обработки которой конструктором не устанавливается, применяют знак по рис.3,а. В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована только удалением слоя материала, применяют знак по рис.3,б. В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, применяют знак по рис.3,в с указанием значения параметра шероховатости.

Поверхности детали, изготавливаемой из материала определенного профиля и размера, не подлежащие по данному чертежу дополнительной обработке, должна быть отмечены знаком по рис.3,в без указания параметров шероховатости. Состояние поверхности, обозначенной таким знаком, должно соответствовать требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями, или другим документом, причем на этот документ должна быть приведена ссылка, например, в виде указания сортамента материала в графе 3 основной надписи чертежа по ГОСТ 2.104-68.

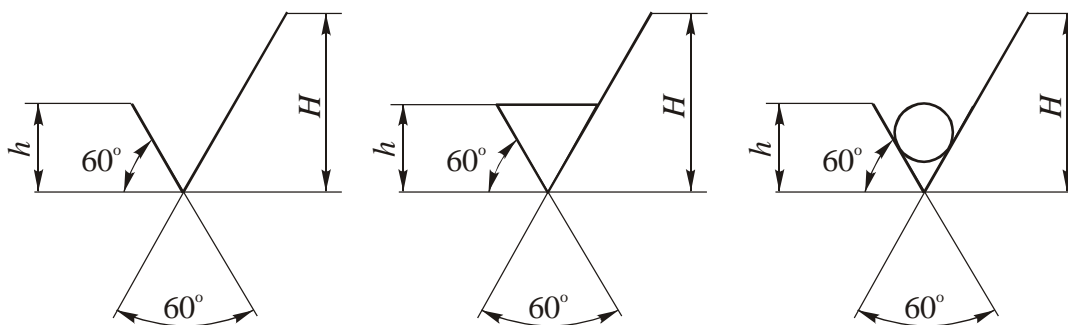


Рис.3.

Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789-73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например: $R_a 0,4$; $R_{\max} 6,3$; $S_m 0,63$; $t_{50} 70$; $S 0,032$; $S_z 50$. В примере $t_{50} 70$ указана относительная опорная длина профиля $t_p = 70\%$ при уровне сечения профиля $p = 50\%$.

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например:

$$\sqrt{Ra 0,4}; \sqrt{Rz 50}.$$

При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «min», например:

$$\sqrt{Ra 3,2 \min}; \sqrt{Rz 50 \min}.$$

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:

$$\begin{array}{cccc} Ra 0,8; & Rz 0,10; & R_{\max} 0,80; & t_{50} 70 \\ 0,4 & 0,5 & 0,32 & 50 \end{array}$$

В верхней строке приводят значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости.

Параметр высоты неровностей профиля
 Параметр шага неровностей профиля
 Относительная опорная длина профиля

$$\sqrt{\begin{array}{l} Ra 0,1 \\ 0,8/S_m 0,063 \\ 0,040 \\ 0,25/t_{50} 80 \pm 10\% \end{array}}$$

Рис.4.

$$\nabla \sqrt{\begin{array}{l} \text{Полировать} \\ M Ra 0,025 \end{array}}$$

Рис.5

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями по ГОСТ 2789-73, например:

$$Ra\ 1\div 20\%;\ Rz\ 100_{-10\%};\ Sm\ 0,63^{+20\%};\ t_{50}\ 70\pm 40\%$$

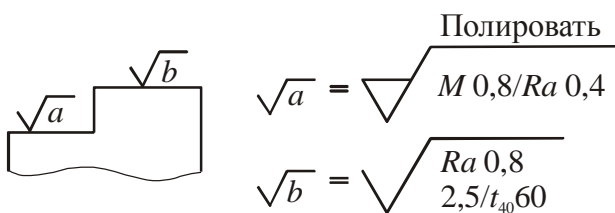


Рис.6

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записывают сверху вниз в порядке, представленном на рис.4 (см. также рис.2).

При нормировании требований к шероховатости поверхности параметрами Ra , Rz , $R\max$ базовую длину в обозначении шероховатости не приводят, если она соответствует ГОСТ 2789-73 для выбранного значения параметра шероховатости.

Условные обозначения направления неровностей должны соответствовать приведенным в табл.1.

Таблица 1

Типы направления неровностей	Обозначение	Типы направления неровностей	Обозначение
Типы направления неровностей	Обозначение		

Условные обозначения направления неровностей приводят на чертеже при необходимости.

Высота знака условного обозначения направления неровностей должна быть приблизительно равна h . Толщина линий знака должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии.

Вид обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости только в случаях, когда он является единственным, применимым для получения требуемого качества поверхности (рис.5).

Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разъяснением его в технических требованиях чертежа по примеру, указанному на рис.6.

2. Правила нанесения обозначений шероховатости поверхностей на чертежах

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок. Допускается при недостатке места располагать обозначение шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, на рамке допуска формы, а также разрывать выносную линию (рис.7).

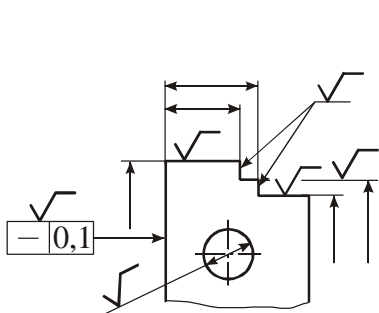


Рис.7

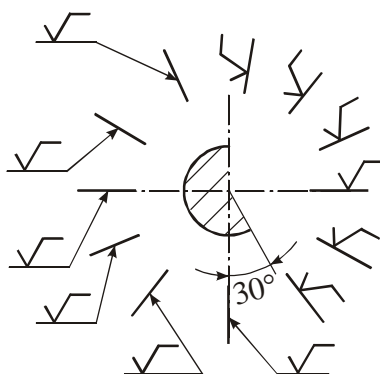


Рис.8

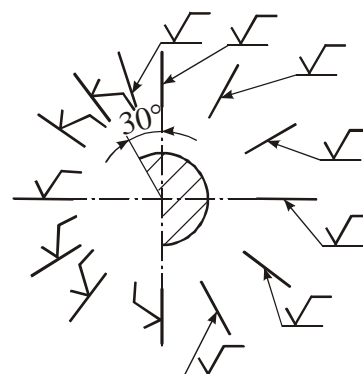


Рис.9

Обозначения шероховатости поверхности, в которой знак имеет полку, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на рис.8 и 9. При расположении поверхности в заштрихованной зоне обозначение наносят только на полке линии выноски.

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис.10). Размеры и толщина линий знака в обозначении шероховатости, вынесенном в правый верхний угол чертежа, должны быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображении.

Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа (рис.11, 12) вместе с условным обозначением ($\sqrt{\quad}$). Это означает, что все поверхности, на которые на

изображении не нанесены обозначения или знак $\sqrt{\text{Ra}}$, должны иметь шероховатость, указанную перед условным обозначением ($\sqrt{\text{Ra}}$), соответствующим слову «остальное». Размеры знака, взятого в скобки, должны быть одинаковыми с размерами знаков, нанесенных на изображении.

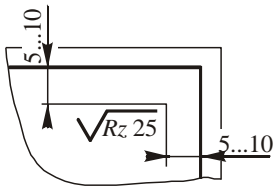


Рис.10

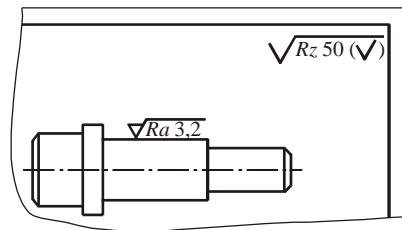


Рис.11

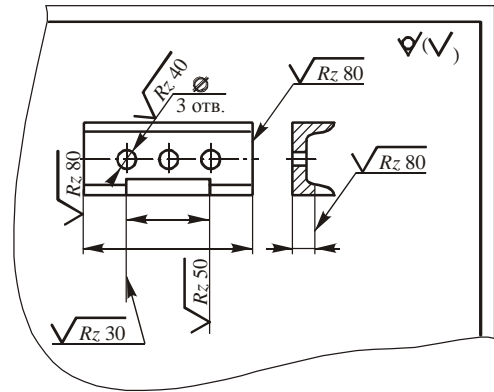


Рис.12

Если шероховатость одной и той же поверхности различна на отдельных участках, то эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости (рис.13,а). Через заштрихованную зону линии границы между участками не проводят (рис.13,б).

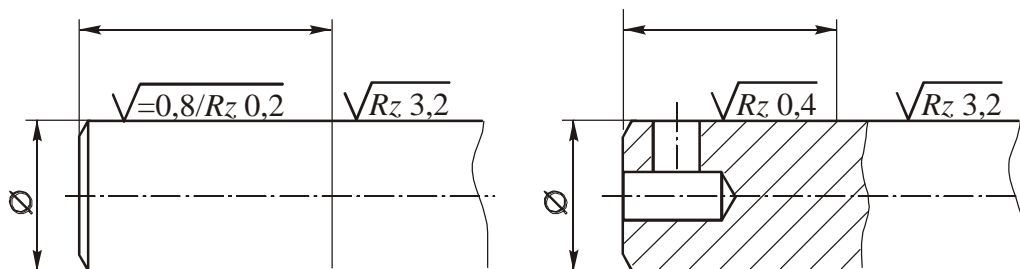


Рис.13

Обозначение шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес, эвольвентных шлицев и т.п., если на чертеже не приведен их профиль, условно наносят на линии делительной поверхности (рис.14, а-в), а для глобоидных червяков и сопряженных с ними колес – на линии расчетной окружности (рис.14,г).

Обозначение шероховатости поверхности профиля резьбы наносят по общим правилам при изображении профиля (рис.15,а), или условно на выносной линии для указания размера резьбы (рис.15, б-д), на размерной линии или на ее продолжении (рис.15,е).

Если шероховатость поверхностей, образующих контур, должна быть одинаковой, обозначение шероховатости наносят один раз в соответствии с рис.16. Диаметр вспомогательного знака \bigcirc - 4...5 мм. В обозначении одинаковой шероховатости поверхностей, плавно переходящих одна в другую, знак \bigcirc не приводят (рис.17).

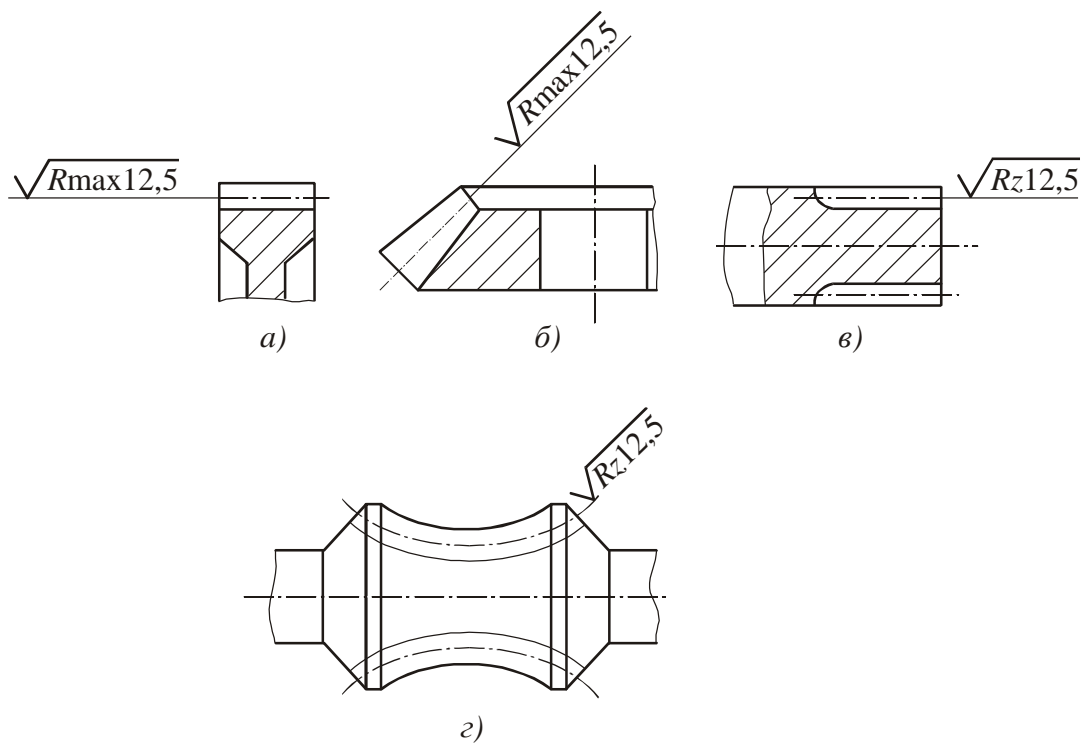


Рис.14

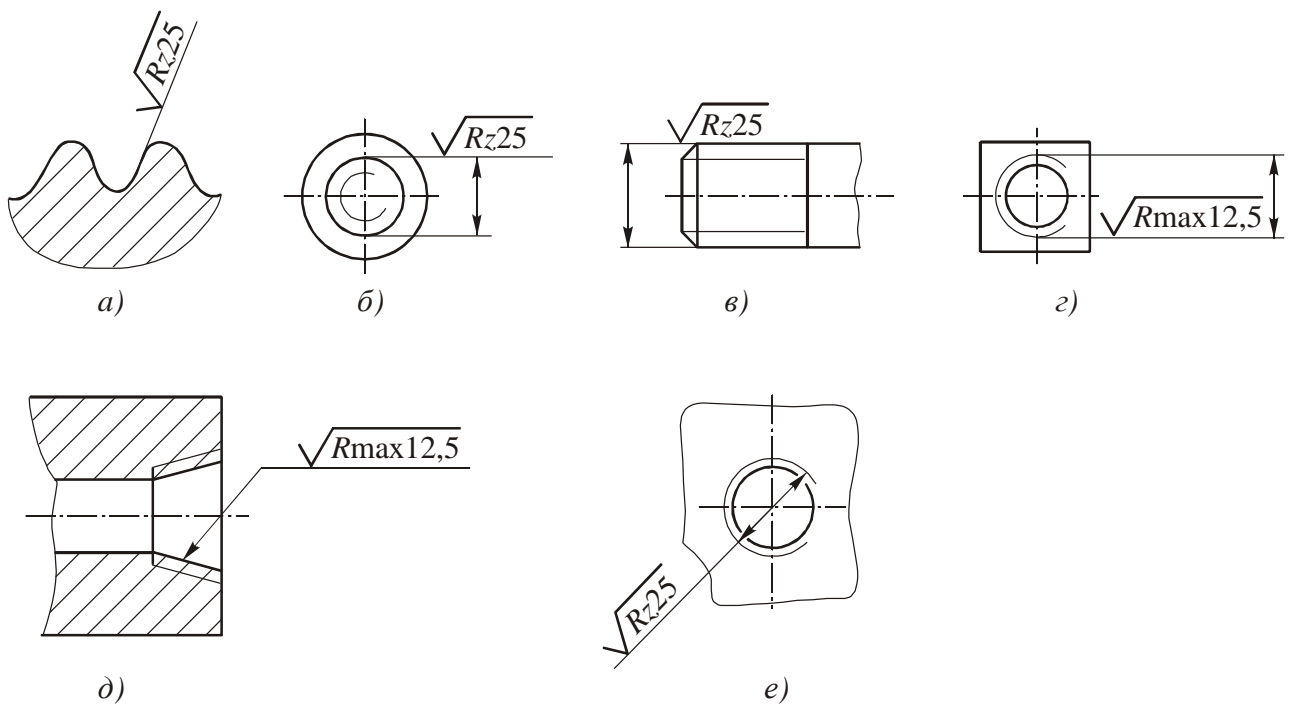


Рис.15

Обозначение одинаковой шероховатости поверхности сложной конфигурации допускается приводить в технических требованиях чертежа со ссылкой на буквенное обозначение поверхности, например:

«Шероховатость поверхности А – $\sqrt{Ra1,6}$ ».

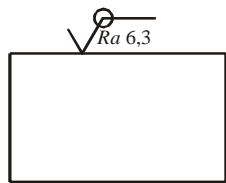


Рис.16

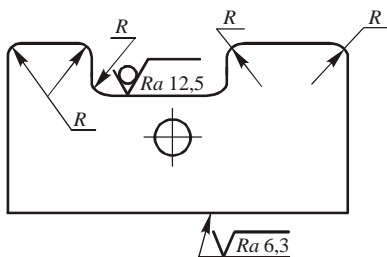


Рис.17

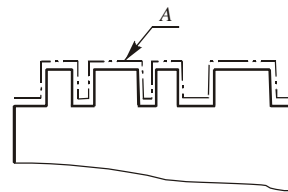


Рис.18

При этом буквенное обозначение поверхности наносят на полке линии-выноски, проведенной от утолщенной штрихпунктирной линии, которой обводят поверхность на расстоянии 0,8...1,0 мм от линии контура (рис.18).

ИЗМЕРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Аттестация шероховатости поверхности проводится по двум видам контроля: качественному и количественному.

Качественный контроль параметров шероховатости поверхности осуществляют путем сравнения с образцами или образцовыми деталями визуально или на ощупь. ГОСТ 9378-75 устанавливает образцы шероховатости, полученные механической обработкой, снятием позитивных отпечатков гальванопластикой или нанесением покрытий на пластмассовые отпечатки. Наборы или отдельные образцы имеют прямолинейные, дугообразные или перекрещивающиеся дугообразные расположения неровностей поверхности. На каждом образце указаны значение параметра Ra (в мкм) и вид обработки образца. Для повышения точности используют щупы и микроскопы сравнения.

Количественный контроль параметров шероховатости осуществляют бесконтактными и контактными средствами измерения.

Для количественной оценки шероховатости поверхности бесконтактным методом используются два способа - увеличение их с помощью оптической системы или использованием отражательных способностей обработанной поверхности.

Приборами, основанными на оценке поверхностных неровностей при увеличении их с помощью оптической системы, являются «приборы светового сечения». Приборами, основанными на отражательной способности, являются микроинтерферометры.

Принцип действия приборов светового сечения заключается в получении увеличенного изображения профиля измеряемой поверхности с помощью лучей, направленных наклонно к этой поверхности, и измерении высоты неровностей в получаемом изображении. Наиболее распространенным является двойной микроскоп типа МИС-11, который позволяет определять три параметра шероховатости Rz , $Rmax$ и S в плоскости, нормальной к направлению неровностей поверхности. Rz , $Rmax$ в пределах 0,5÷40 мкм и S в пределах 0,002÷0,5 мм.

Принцип действия микроинтерферометра такой же, как и обычного, но отличается тем, что в качестве одной из поверхностей, которая создает интерференционную картину, используется измеряемая поверхность. А это значит, что прибор предназначен для измерения поверхностей с малыми неровностями, так как на грубых поверхностях интерференцию получить невозможно. В принципе микроинтерферометр представляет сочетание интерферометра и микроскопа. Наиболее типичным является прибор ММИ-4, который также позволяет определять R_z , R_{\max} и S , но в более узком диапазоне. R_z , R_{\max} в пределах $0,05 \div 0,8$ мкм.

Для количественной оценки шероховатости поверхности контактными средствами измерения используют профилографы-профилометры и профилометры.

Профилограф-профилометр состоит из двух приборов в зависимости от характера выдаваемой измерительной информации - профилографа и профилометра. Объединяются они вместе для расширения возможностей измерения поверхностных неровностей и в связи с тем, что многие функциональные узлы у них совпадают. Эти приборы предназначены в основном для работы в лаборатории. Отечественная промышленность изготавливает несколько моделей приборов (201, 202, 252), основанных на индуктивном методе преобразования колебаний иглы в колебание напряжений.

Профилограф — прибор для записи величин неровностей поверхности в нормальном к ней сечении в виде профилограммы, обработкой которой определяются все параметры, характеризующие шероховатость и волнистость поверхности.

Профилометр — прибор для измерения поверхностных неровностей в нормальном к ней сечении и представлении результатов измерения на шкале прибора в виде значения одного из параметров» используемых для оценки этих неровностей. Большинство профилометров дают оценку поверхностных неровностей по параметру R_a и используются в качестве цеховых приборов. Оценка шероховатости по параметру R_z связана с трудностями обработки сигнала.

Содержание отчета

1. Рисунок профиля поверхностных неровностей с основными параметрами.
2. Оценка параметров шероховатости по заданному профилю.
3. Приборы для оценки шероховатости поверхности на деталях машин.
4. Пример обозначения шероховатости на чертеже детали.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры используют для оценки шероховатости поверхности?
2. Чем и как контролируют шероховатость поверхности?
3. Какой параметр шероховатости измеряет прибор МИС-11?
4. Как обозначается шероховатость на чертежах?

5. Для чего на ответственных деталях машин добиваются малой шероховатости?

Литература

1. Марков Н.Н., Ганевский Г.М. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов. – М.:Машиностроение, 1993.
2. Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник. – М.:Машиностроение, 1987.
3. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения. – М.:Машиностроение, 1980.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»

Составители:

Афонасов Алексей Иванович

Червач Юрий Борисович

Петрова Людмила Михайловна

Рецензент

С.В. Кирсанов, д.т.н., профессор каф. ТАМП

Подписано к печати

Формат 60×84/16. Бумага ксероксная.

Плоская печать. Усл. печ. л. Уч.-изд. л.

Тираж экз. Заказ № Цена свободная.

ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ № 1 от 18.07.94.

Типография ТПУ. 634050, Томск, пр. Ленина, 30.