В. П. СОКОЛОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Универсальные средства технических измерений.
Предельные калибры

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»

В. П. СОКОЛОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Универсальные средства технических измерений. Предельные калибры

Утверждено Редакционно-издательским советом
в качестве учебного пособия

Санкт-Петербург
2017

УДК 006.91:531.7.(075.8)
ББК 30.10я73
С59

Р е ц е н з е н ты:
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиноведения Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна
А. В. Марковец;
кандидат технических наук, начальник производства ООО «Энергоинжиниринг»
И. В. Ульянов

Соколов, В. П.

С59 Метрология, стандартизация и сертификация. Универсальные средства технических измерений. Предельные калибры: учеб. пособие / В. П. Соколов. – СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2017. – 136 с.

ISBN 978-5-7937-1477-8

В учебном пособии приведены общая классификация и описание универсальных и некоторых специальных средств измерений, широко применяемых в машиностроении для измерения параметров точности и качества поверхностей деталей машин. Представлены метрологические характеристики приборов, методика настройки и проведения измерений, правила выбора универсальных средств для измерения линейных размеров. Приведены задания для самостоятельной работы по выполнению измерений и контроля различных параметров деталей, представлены рекомендуемые формы отчетов по работам.

Предназначено для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину «Метрология, стандартизация и сертификация», обучающихся по направлениям подготовки бакалавров 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 29.03.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства», изучающих дисциплину «Взаимозаменяемость и нормирование точности» по направлению 27.03.01 «Стандартизация и сертификация» и др.

Может быть использовано при изучении других дисциплин, связанных с технологией получения и обработки материалов, достижением при этом требуемых точности и качества поверхностей.

УДК 006.91:531.7.(075.8)
ББК 30.10я73

ISBN 978-5-7937-1477-8

© ФГБОУВО «СПбГУПТД», 2017
© Соколов В. П., 2017

Предисловие

Целью настоящего учебного пособия является организация и проведение лабораторных работ и практических занятий по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», а также закрепление теоретических знаний по соответствующим разделам дисциплины.

Учебное пособие включает три части:

1) теоретическая – краткая классификация средств измерений;

2) измерительные приборы универсального назначения: штангенинструмент, микрометрический инструмент, измерительные головки, концевые и угловые меры;

3) средства и методы, предназначенные для специальных измерений, в частности, калибры и шаблоны, приборы и устройства для измерений параметров шероховатости, элементов резьбы и зубчатых колес. При работе с ними широко применяются универсальные средства измерений, рассматриваемые во второй части пособия.

В теоретической части пособие содержит только дополнительный материал, необходимый для выполнения практической части работ.

Во второй части каждый раздел содержит краткую характеристику группы универсальных средств измерений, объединенных общим конструктивным принципом. После этого следует подробное описание действия наиболее распространенных приборов данной группы, рассматривается устройство и порядок работы на данном приборе. Затем дается описание измерений какой-либо конкретной детали, калибра и др.

В *разделах* третьей части приведены описания лабораторных работ применительно к измерению отдельных элементов деталей сложного профиля, например, методы и средства измерений шага, угла профиля и диаметров резьбы, параметров точности зубчатого колеса.

В конце пособия прилагаются рекомендуемые формы таблиц отчетов для записи результатов измерений. При составлении форм отчетов по лабораторным работам автор стремился придать им такой вид, при котором студент тратит минимальное время на записи, выполнение схем и пр., а основное время уделяет ознакомлению с приборами и приемами измерений на них.

Проведение лабораторных и практических работ в соответствии с данным пособием основано на использовании измерительных приборов и приспособлений, применяемых в настоящее время в цехах и лабораториях машиностроительных предприятий. Учебное пособие не ставит целью описание всех или возможно большего числа применяемых в производственной практике измерительных приборов и методов измерений, а ограничивается наиболее широко распространенными средствами измерений, которые с методической точки зрения являются «типовыми» для определенной группы приборов и знакомство с которыми привьет студентам определенные навыки в обращении с измерительными приборами.

В предлагаемом пособии не рассматриваются специальные вопросы измерительной техники, так как принципиальная сторона этих вопросов изучается в курсе метрологии; более детальная проработка этой темы может быть использована при выполнении студенческих учебно-исследовательских работ.

Количество часов, отводимое обычно для занятий в лаборатории по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация», не позволяет выполнить каждому студенту весь комплекс помещаемых в данном пособии работ. Поэтому, в соответствии с количеством часов и в зависимости от направления обучения каждой группы студентов, а также исходя из имеющегося в лаборатории оборудования, руководитель занятий сам устанавливает необходимый минимум и содержание работ, подлежащих обязательному выполнению.

Лабораторные и практические занятия, кроме ознакомления студентов с эксплуатационными и метрологическими характеристиками наиболее широко распространенных измерительных приборов, имеют своей целью также закрепление получаемых на лекциях основных понятий о системе допусков ИСО, нормировании точности и взаимозаменяемости основных видов соединений в технике. Для этого в учебном пособии при выполнении каждой работы кроме записи измерений размеров деталей вводится расчет предельных размеров и сравнение действительных, т. е. полученных в результате измерений, размеров с допустимыми по ГОСТ. Таким образом, в процессе выполнения лабораторных работ у студентов должны создаваться навыки в обращении с контрольно-измерительными приборами, а также в пользовании нормативными данными и справочниками.

Учебное пособие разработано на основе опыта работы СПбГУПТД с использованием ряда сведений и положений из существующей справочной и методической литературы [1], [19], [20], [29], [31]. При его составлении применялись обновленные нормативные и справочные материалы, методические рекомендации Росстандарта. Основные метрологические термины, определения и классификация измерительных средств приведены в соответствии с существующими стандартами и другими нормативными документами

Для выполнения заданий необходимые справочные материалы в виде таблиц стандартных величин предельных отклонений и допусков на все виды сопряжений и калибры к ним можно найти в справочниках по машиностроению, в специальных справочниках по допускам и посадкам, а также в отдельно изданных национальных стандартах РФ.

Учебное пособие рекомендуется применять для самостоятельной работы, при проведении практических и лабораторных занятий, выполнения индивидуальных заданий, для курсового и дипломного проектирования студентами всех форм обучения по дисциплинам машиностроительного и технологического циклов при подготовке бакалавров, магистров и инженеров.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерительная техника является составной частью любого производственного процесса. В каждой отрасли промышленности должна существовать надежная система метрологического обеспечения производства, технической основой которой является комплекс средств измерений и измерительных приборов, позволяющий контролировать ход технологических процессов, оценивать свойства и качество продукции.

Средствами измерений (СИ) называют технические устройства, применяемые для измерения различных физических величин (ФВ) и имеющие нормируемые метрологические свойства (характеристики). Средства измерений можно классифицировать по метрологическому назначению, виду и типу контролируемых величин.

По метрологическому назначению различают образцовые и рабочие средства измерений. *Образцовые СИ* используют для поверки по ним рабочих средств измерений или образцовых меньшей точности. *Рабочие СИ* предназначены для практической деятельности человека при выполнении измерений в различных отраслях промышленности, науки и техники.

Основными видами средств измерений являются эталоны единиц величин; меры; измерительные преобразователи; измерительные приборы; измерительные установки; измерительные системы.

1. Эталон – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы физической величины (или кратных, дольных ее значений) в целях передачи ее размера другим средствам измерений данной физической величины [3]. По метрологическому назначению различают эталоны первичные, вторичные и рабочие.

2. Мера представляет собой средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. К примеру, гиря является мерой массы, конденсатор – мерой емкости, резистор – мерой электрического сопротивления, кварцевый генератор – мерой частоты электрических колебаний и т. д.

Различают *одно- и многозначные меры*, а также *наборы и магазины мер*. С помощью однозначной меры воспроизводится величина лишь одного размера, например, концевая мера длины, угловая мера, конденсатор постоянной емкости. Многозначные меры воспроизводят несколько одноименных величин разного размера, например, миллиметровая линейка, рулетка, конденсатор переменной емкости, меры состава и свойств веществ и материалов.

Наборы и магазины мер представляют различные сочетания нескольких отдельных мер, которые могут выполнять свои функции как в отдельности, так и в различных комбинациях друг с другом в целях воспроизведения некоторых промежуточных величин.

К мерам можно также отнести *стандартные образцы* – образцы веществ и материалов с установленными на основе испытаний значениями физических величин, которые строго определят состав или свойство данного вещества (материала).

3. Измерительный преобразователь – это средство измерений, функцией которого является преобразование сигнала измерительной информации в форму, удобную для его передачи, последующего преобразования, а затем обработки и хранения (термопара, фоторезистор, измерительный усилитель и др.). Информация в таком виде не может быть воспринята оператором. Для этого она подается в показывающее устройство, с которого и происходит непосредственное восприятие.

Измерительный преобразователь входит непосредственно в конструкцию измерительного прибора либо совместно с ним применяется. По месту, занимаемому в измерительной цепи, различают первичные и промежуточные преобразователи. Основной метрологической характеристикой преобразователя является «функция преобразования», представляющая соотношение входной и выходной величин.

Преобразователь, выполняющий самостоятельную функцию и не входящий в измерительную цепь, не является измерительным (трансформатор, делитель напряжения и т. п.).

4. Измерительный прибор представляет собой средство измерений, которое воспринимает измеряемый параметр, осуществляет его преобразование и воспроизводит действительное значение величины размера в сравнении с известной мерой. Современные измерительные приборы имеют в своем составе элементы для преобразования измеряемой величины в сигнал измерительной информации и устройство для индикации сигнала в удобной для восприятия и регистрации форме. Таким устройством может служить шкала со стрелкой, цифровое табло, диаграмма или дисплей.

По способу снятия показаний различают измерительные приборы прямого действия и сравнения.

В измерительном приборе прямого действия результат измерений снимается непосредственно с его показывающего устройства. Например, такими приборами являются амперметр, манометр, ртутный стеклянный термометр.

В измерительном приборе сравнения результат измерения получается путем сравнения измеряемой величины с заранее известной величиной. Такие приборы называют компараторами. Примерами компараторов могут служить равноплечие весы, измерительный мост электрического сопротивления, интерференционный компаратор концевых мер длины, фотометрическая скамья с фотометром и т. п.

По способу индикации сигнала на выходе различают следующие типы средств измерений:

аналоговые приборы, у которых сигнал на выходе представляет собой непрерывную функцию измеряемой величины;

цифровые приборы, у которых сигнал на выходе представлен в цифровом виде;

показывающие приборы, допускающие только отсчет показаний (например, цифровой вольтметр, микрометр);

регистрирующие приборы, на которых возможна регистрация результата измерений (например, барограф);

суммирующие приборы, показания которых функционально основаны на суммировании нескольких величин;

интегрирующие приборы, позволяющие определить значение измеряемой величины методом интегрирования ее по другой величине.

5. *Измерительная установка* представляет собой совокупность средств измерений (меры, измерительные приборы и преобразователи) и вспомогательных устройств, объединенных функционально в одном месте (например, испытательный стенд). Составляющие измерительной установки вырабатывают сигналы в удобной для непосредственного восприятия наблюдателем форме.

6. *Измерительная система* представляет собой такую же совокупность СИ, но составляющие ее звенья соединены между собой каналами связи, которые размещены в разных точках контролируемого пространства. Целью измерительной системы является измерение одной или нескольких ФВ, которые свойственны данному пространству. Сигналы измерительной информации могут быть представлены в форме, удобной для непосредственного восприятия и (или) автоматической обработки, передачи и применения в автоматизированных системах управления (АСУ).

В зависимости от вида измеряемой величины и принципа действия средства измерений и контроля разделяют на ряд классификационных групп, в том числе геометрические, механические, давления, расхода, уровня, времени и частоты, весовые, тепловые, физико-химического состава вещества, электрические, магнитные, акустические, оптические и др.

Средства измерений, применяемые в машиностроении, по назначению можно разделить на универсальные, специальные и контрольные. *Универсальные приборы* применяют в производственных цехах и контрольно-измерительных лабораториях для измерений линейных и угловых размеров различных изделий в определенном для этого СИ диапазоне. *Специальные измерительные приборы* предназначены для измерения или контроля одного или нескольких параметров детали определенной геометрической формы (резьба, зубчатые колеса, шлицы и др.) или сложных элементов деталей, таких как параметры шероховатости поверхности, отклонения формы поверхностей и др. *Измерительные устройства для контроля геометрических параметров* делят на средства приемочного контроля (в том числе калибры), приборы для активного контроля в процессе изготовления детали и приборы статистического контроля и анализа.

2. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Универсальные средства измерения (СИ) предназначены для контроля различных геометрических параметров деталей в условиях единичного и мелкосерийного производства. Они применяются также при контроле отклонений формы и взаимного расположения поверхностей, при наладке технологического оборудования, выполнении ответственных измерений во всех видах производства.

Один и тот же универсальный прибор в комплекте с дополнительными приспособлениями (стойки, штативы, плиты, струбцины) может быть использован для проведения измерений в определенном диапазоне размеров независимо от вида и формы измеряемой детали.

Универсальные средства измерений разделяют на измерительные инструменты и приборы [24].

А. К измерительным инструментам относят следующие устройства: 1) бесшкальные инструменты; 2) измерительные линейки и рулетки; 3) угломеры; 4) штангенинструменты; 5) микрометрические инструменты.

❖ К ***бесшкальным инструментам*** относятся [20]:

– *лекальные и поверочные линейки* (ГОСТ 8026–92), предназначенные для контроля отклонений от прямолинейности на просвет или посредством щупа с собственным отклонением от прямолинейности от 0,6 (класс 0; 50 мм) до 3 мкм (класс 1; 500 мм);

– *синусные линейки* (ГОСТ 4046–80) для косвенных измерений наружных углов до 45° с погрешностью от +5" до ±15";

– *поверочные плиты* (ГОСТ 10905–86) для контроля отклонений от плоскостности по краске;

– *образцы шероховатости поверхности* (ГОСТ 9378–93) для визуального контроля шероховатости поверхности деталей;

– *калибры нормальные и предельные, шаблоны*, имеющие форму поверхности, обратную (противоположную) контролируемому объекту; с их помощью контролируют годность изготовления изделия *по одному из его параметров*.

Нормальные калибры имеют размеры, выполненные в соответствии с номинальными размерами контролируемых изделий. К таким калибрам относятся, в частности, *шаблоны* резьбовые и шаблоны радиусные выпуклые и вогнутые для контроля на просвет (ТУ 2-034-228-87); *щупы* с набором пластин разных толщин для контроля зазоров между плоскостями (ТУ 2-034-228-87); *угольники поверочные* 90° (ГОСТ 3749–77) для контроля прямых углов на просвет, конусные калибры.

Предельные калибры имеют размеры, соответствующие *наибольшему или наименьшему предельным размерам* контролируемых деталей – калибры для контроля глубин и высот уступов (ГОСТ 2534–77), гладкие пробки и скобы (ГОСТ 21401–75, ГОСТ 14810–69, 18360–93 и др.).

❖ ***Линейки и рулетки измерительные***. Общим элементом этих средств измерений является наличие полосы из металла или другого материала с нанесенными на нее делениями. Измерительные линейки и рулетки являются многозначными мерами, так как они воспроизводят ряд одноименных величин различного размера. Их называют иногда штриховыми мерами.

В машиностроении используют металлические линейки длиной от 150 до 3000 мм (ГОСТ 427–75). При работе с ними погрешность измерения зависит от погрешности нанесения делений (0,1–0,2 мм) и погрешности отсчета (0,2–0,3 мм). В большинстве случаев погрешность измерения находится в пределах от 0,5 до 1 мм.

❖ ***Угломеры***. В зависимости от принципа действия различают следующие виды инструментов для измерения углов:

– *механические угломеры*, применяемые для контактных измерений углов. На практике используются три типа угломеров с нониусом УН, УМ или УГ (ГОСТ 5378–88) для измерения наружных углов от 0 до 180º с отсчетом по нониусу 2′, 5′ или 10′ (угломер УГ), а также оптический угломер УО с ценой деления 5′ (ГОСТ 11197–73);

– *уровни*, предназначенные для определения горизонтальности поверхностей и для измерения небольших угловых отклонений от нее. Наибольшее распространение в технике получили уровни, в которых чувствительным элементом является стеклянная ампула с жидкостью. На практике нашли широкое применение *брусковые и рамные уровни* (ГОСТ 9392–89), у которых наружная поверхность ампулы имеет шкалу с ценой деления 4″, 10″, 20″ и 30″ (в радианной мере 20″ соответствует 0,1 мм на 1 м).

В *микрометрических уровнях* отсчет угла производят на основе показаний микрометрического винта, который перемещает один конец ампулы. Микрометрические уровни выпускаются промышленностью двух типов с ценой деления 0,01 мм / 2″ и 0,1 мм / 20″ (ГОСТ 11196–74).

❖ **Штангенинструменты.** В зависимости от назначения и конструктивных особенностей различают следующие виды приборов:

– *штангенциркули* (ГОСТ 166–89) для измерений наружных и внутренних размеров;

– *штангенглубиномер* (ГОСТ 162–90) для измерений глубины отверстий, пазов и высот уступов;

– *штангенрейсмас* (ГОСТ 164–90) для определения высоты деталей и проведения разметочных работ;

– *штангензубомер* для измерений толщины зубьев цилиндрических зубчатых колес.

Различают несколько типоразмеров штангенинструментов. Цена деления этих приборов может составлять 0,1, 0,05 или 0,002 мм.

❖ ***Микрометрические средства измерений.*** Промышленностью выпускаются гладкие микрометры типа МК для контроля наружных размеров деталей

(ГОСТ 6507–90), микрометрические нутромеры (ГОСТ 10–88) и глубиномеры (ГОСТ 7470–92) для определения внутренних размеров и глубин деталей, а также резьбовые (ГОСТ 4380–93), трубные, рычажные (ГОСТ 4381–87), зубомерные, окулярные микрометры и другие специальные инструменты. Цена деления этих приборов составляет 0,01 мм, предел измерения изменяется от 0...25 до 500...600 мм.

Б. Универсальные измерительные приборы можно разделить на следующие группы: 1) механические (измерительные головки рычажные, зубчатые, пружинные); 2) оптические и оптико-механические; 3) пневматические; 4) электромеханические и электрические; 5) радиационные приборы [24]. (Две последние группы в данном пособии не рассматриваются).

❖ ***Измерительные головки*** представляют собой механические отсчетные устройства, позволяющие преобразовать малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки и имеющие шкалу, по которой определяется величина перемещения наконечника [20].

В качестве отдельного прибора эти головки не используют, их устанавливают в устройствах для отсчета перемещений. Поэтому измерительные головки еще называют «отсчетными головками». Головки при измерении устанавливают в универсальные приспособления – штативы и стойки.

По принципу действия измерительные головки подразделяют на пружинные (ГОСТ 6933–81, ГОСТ 28798–90); рычажно-зубчатые (ГОСТ 18833–73); зубчатые – индикаторы часового типа (ГОСТ 577–68) и многооборотные индикаторы (ГОСТ 9696–82). Измерительные головки устанавливают на стойки или штативы (ГОСТ 10197–70).

❖ ***Оптические и оптико-механические приборы*** подразделяют на три разновидности:

1) *контактные приборы с механическим соприкосновением* с контролируемым изделием и оптическим измерением перемещения точки соприкосновения. К этим приборам относят оптиметры вертикальный ИКВ и горизонтальный ИКГ для измерения наружных и внутренних размеров; оптические длиномеры вертикальный ИЗВ-1 и горизонтальный и ИЗВ-2 для определения наружных диаметров и длин деталей; измерительные машины; гониометры. Приборы этой группы применяют для измерения методом сравнения с установочной мерой (размер концевых мер длины) или сравнением размера со шкалой, встроенной непосредственно в прибор);

2) *бесконтактные приборы с оптическим устройством* для наблюдения контролируемого изделия и оптическим измерением перемещения точки визирования. Основными представителями этой разновидности оптических приборов являются универсальный микроскоп и универсальный измерительный микроскоп (УИМ), приборы светового и теневого сечения, микроинтерферометры.

3) *бесконтактные приборы с оптическим способом* визирования измеряемой поверхности и механическим измерением перемещения точки визирования

(инструментальные микроскопы, проекторы и др.) с ценой деления и погрешностью измерения от 0,001...0,005 мм. Такие приборы применяют в метрологических лабораториях для контроля изделий высокой точности, таких как калибры, конуса, резьбонарезной инструмент и др. При помощи измерительных микроскопов (ММИ, БМИ, УИМ-21) можно контролировать линейные и угловые размеры изделий. Проекторы используются для контроля и измерения деталей со сложным профилем (шаблоны, лекала, зубчатые колеса, модульные и фасонные фрезы, резьбонарезной инструмент), спроецированных в увеличенном масштабе на экран, путем сравнения, например, действительного контура с предельно допустимым контуром.

❖ ***Пневматические приборы.*** Пневматические приборы применяются для контроля малых размеров отверстий, конусов геометрической формы поверхностей, малых перемещений и др. Принцип действия этих приборов основан на измерении расхода или давления воздуха в воздушной магистрали в зависимости от зазора между торцами сопел измерительной головки и поверхностью контролируемой детали. По способу определения расхода воздуха пневматические приборы делятся на две группы: с манометром (манометрические) с переменным перепадом давления; с ротаметрами (поплавковые) с постоянным перепадом давления.

В манометрических приборах изменение зазора между выходным соплом и измеряемой поверхностью вызывает изменение расхода воздуха. Соответственно меняется рабочее давление воздуха в камере прибора, которое измеряется манометром, градуированным в единицах длины. *В ротаметрических приборах* изменение расхода воздуха приводит к изменению положения поплавка, находящегося в конической стеклянной трубке, через которую проходит воздушный поток постоянного давления. Отсчет показаний ведется по отсчетной шкале, закрепленной рядом с трубкой, указателем является верхний край поплавка. Цена деления шкалы этих приборов изменяется от 0,1 до 2 мкм.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение меры и измерительного прибора.
2. Перечислите основные виды средств измерений, представьте их назначение и краткую характеристику.
3. Что понимают под измерительной установкой и измерительной системой? Чем отличается средство измерений от измерительного преобразователя?
4. В чем состоит разница между прибором прямого действия и прибором сравнения?
5. Перечислите типы средств измерений по способу индикации сигнала на выходе.
6. Какова область применения универсальных и специальных средств измерений в машиностроении?

7. Перечислите разновидности и примеры применения бесшкальных инструментов.

8. Назовите группы и разновидности универсальных измерительных приборов.

3. РАБОТА СО ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТОМ

3.1. Устройство и принцип действия штангенинструмента

К этим инструментам относят штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы, штангензубомеры и др. Все они имеют одинаковое отсчетное устройство, состоящее из штанги с основной миллиметровой шкалой и нониуса – вспомогательной шкалы для отсчета долей делений на штанге.

Наиболее распространенным инструментом этой группы является штангенциркуль (от нем. *Stangenzirkel*) – высокоточный инструмент, применяемый для измерения наружных и внутренних линейных размеров, глубин отверстий и пазов, разметки.

Штангенциркуль имеет измерительные губки, одна из которых (базовая) *8* (*рис. 3.1*) составляет единое целое со штангой *1*, а другая *7* выполнена заодно с установленной на штанге рамкой *3*. Рамка свободно перемещается по штанге и в любом положении может быть застопорена зажимным винтом *4*. С задней стороны к рамке прикреплена узкая стальная линейка *6*, называемая линейкой глубиномера. Для более точного обмера рабочие поверхности верхних *2* и нижних губок *7* и *8* заострены.

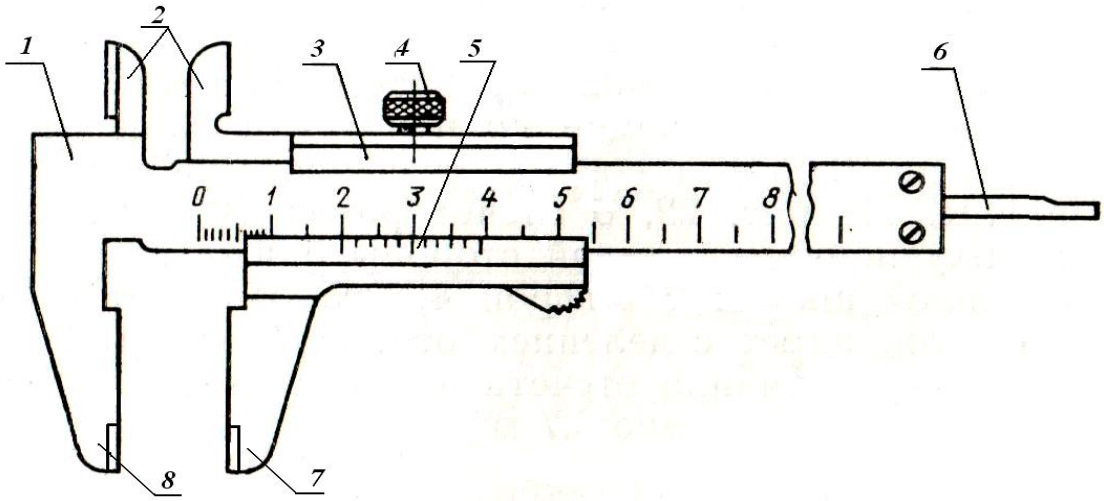


Рис. 3.1. Устройство штангенциркуля

На штанге нанесена основная шкала с интервалом деления 1 мм, по ней производится отсчет целых миллиметров. На нижней скошенной грани рамки

устанавливается или гравируется нониус *5* – вспомогательная шкала с небольшим числом интервалов (10–20). Нониус предназначен для отсчета десятых или сотых долей миллиметра. Для этого интервал деления шкалы нониуса изготовляют меньше интервала деления основной шкалы на 0,1; 0,05 или 0,02 мм (например, 20 делениям шкалы соответствует 19 делений нониуса). Это условие позволяет производить отсчет по шкале нониуса *с точностью* до 0,1; 0,05 или 0,02 мм (неправильно называть ее ценой деления нониуса).

При измерении детали первый (нулевой) штрих нониуса указывает на основной шкале величину измеряемого размера в целых миллиметрах. Если нулевой и последний штрихи нониуса точно совпадают с делениями основной шкалы, то размер либо равен нулю, либо содержит только целые миллиметры, которые отсчитываются по основной шкале от нулевого штриха нониуса (*рис. 3.2, а*).

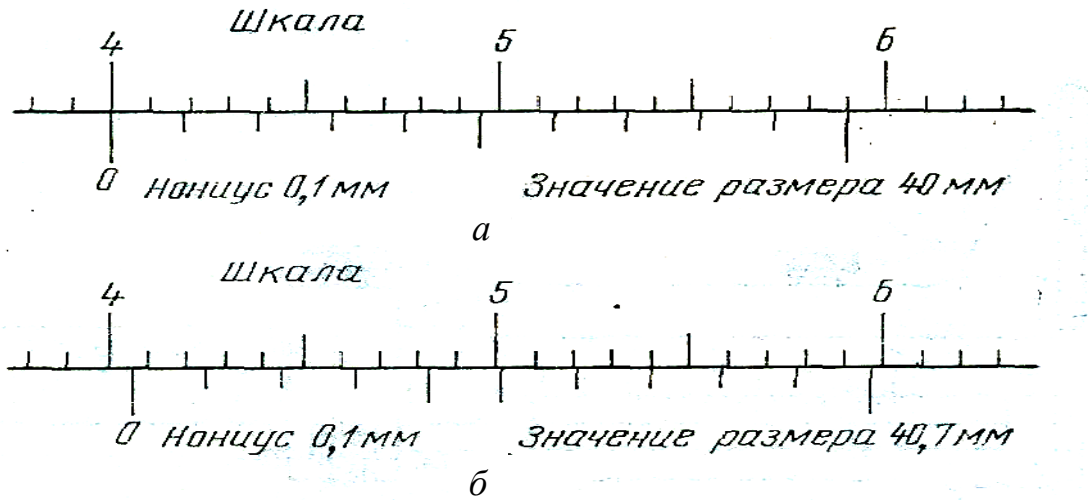


Рис. 3.2. Отсчет по шкале и нониусу:
а – целое число миллиметров отсчитывается нулевым штрихом нониуса по шкале слева направо; *б* – количество десятых долей миллиметра определяется умножением величины отсчета (0,1 мм) на порядковый номер штриха нониуса (без нулевого), совпадающего со штрихом штанги (в данном случае седьмой штрих слева)

Если нулевой штрих нониуса не совпадает ни с одним штрихом основной шкалы, то отсчет образуется из двух частей. Целое значение размера, кратное 1 мм, берется по основной шкале и соответствует ближайшему меньшему значению **(слева от нулевого штриха нониуса).** Затем добавляется дробное значение размера, отсчитываемое по тому делению нониуса, которое совпадает с одним из делений основной шкалы (*рис. 3.2, б*). Таким образом, отсчет размера производится в соответствии с выражением

$$L = l + k\, i_н, \qquad (3.1)$$

где L – измеряемый размер;

l – показания основной шкалы, мм;

k – порядковый номер штриха нониуса, совпавшего с каким-либо штрихом основной шкалы;

$i_н$ – точность отсчета (цена деления нониуса), мм.

Так, на *рис. 3.2, б* отсчет равен 40,7 мм, так как к нулевому штриху нониуса с левой стороны ближе всего находится штрих основной шкалы с цифрой 4, что означает 4 см, т. е. 40 мм, а точно совпадает с делением основной шкалы 7-й штрих нониуса. Поскольку величина отсчета на этом нониусе 0,1 мм, то дробное значение размера равно 0,7 мм.

ГОСТ 166–89 [4] предусматривает изготовление трех типов штангенциркулей с отсчетом по нониусу (ШЦ).

Штангенциркуль ШЦ-I (*рис. 3.1, 3.3* и *3.10*) – с двусторонним расположением губок и глубиномером, значением отсчета по нониусу 0,1 или 0,05 мм и с пределами измерения от 0 до 125 (150) мм; он имеет наибольшую универсальность, но сравнительно невысокую точность.

Рис. 3.3. Штангенциркуль ШЦ-I

Штангенциркуль ШЦ-II (*рис. 3.4*) – с двусторонним расположением губок и узлом микроподачи нониуса, значением отсчета по нониусу 0,05 или 0,02 мм и пределами измерения 0–200 или 0–320 мм.

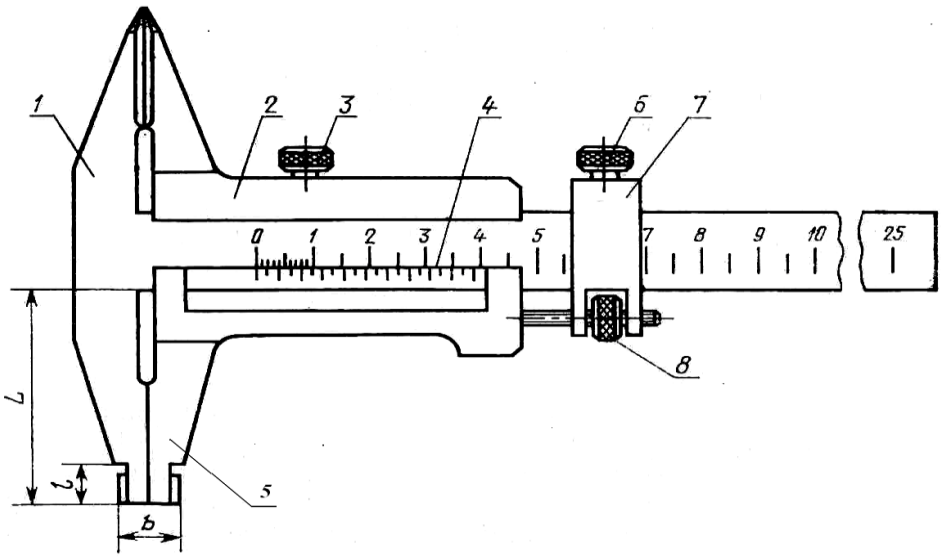
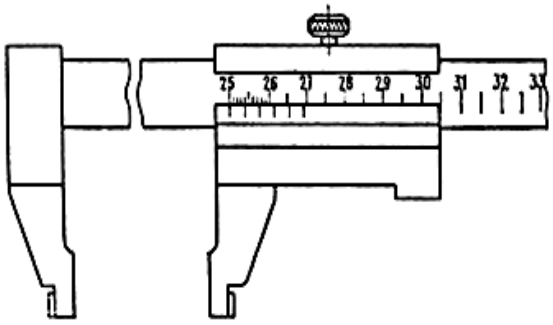


Рис. 3.4. Штангенциркуль ШЦ-II:
1 – верхние губки; *2* – рамка; *3* – стопорный винт рамки; *4* – нониус; *5* – нижние губки; *6* – стопорный винт узла микроподачи; *7* – узел микроподачи нониуса; *8* – регулировочная гайка

Верхние губки *1* штангенциркуля ШЦ-II предназначены в основном для разметки, но в связи с тем, что по толщине они небольшие, их иногда используют также для измерения наружных размеров внутри узких проточек. Винт *3* является стопором для скрепления рамки и штанги. Устройство *7* предназначено для микропремещения рамки по штанге с помощью гайки *8*. Рамка микроподачи фиксируется на штанге винтом *6*. Микроподача в основном используется для установки штангенциркуля при разметке.

Штангенциркуль ШЦ-III (*рис. 3.5*) применяется для измерения больших размеров. Изготавливается с односторонними губками, значением отсчета по нониусу 0,1 или 0,05 мм и пределами измерения 0–500, 250–630, ……., 800–2000 мм.

а



б

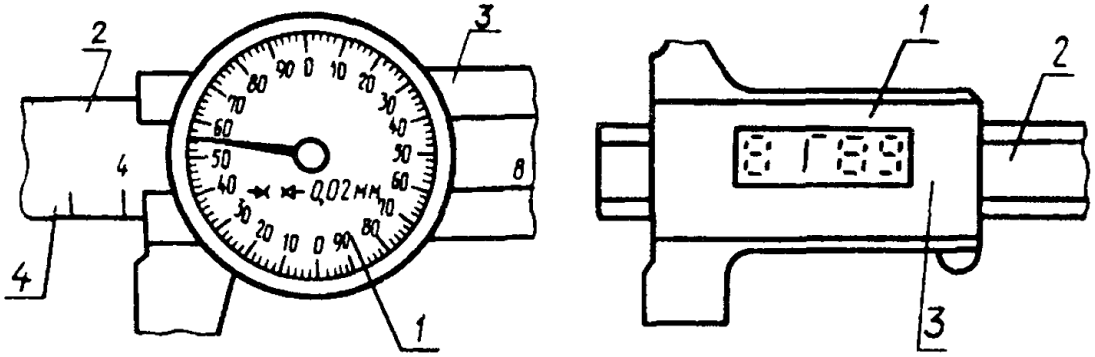
Рис. 3.5. Штангенциркуль типа ШЦ-III: *а* – общий вид; *б* – устройство

Примечание. Наружные поверхности нижних губок штангенциркулей ШЦ-II и ШЦ-III имеют закругленные поверхности, размер которых b = 10 мм в сведенном состоянии. Этот размер маркируется на боковой поверхности губок. При измерении внутренних размеров этими штангенциркулями к показанию прибора прибавляется размер толщины обеих губок – 10 мм, так как нулевой отсчет на шкале соответствует нулевому значению при внешних измерениях.

Кроме штангенциркулей ШЦ с отсчетом по нониусу стандарт [4] предусматривает изготовление приборов с другими типами отсчетных устройств. Так, в последние годы во многих странах штангенинструменты выпускаются с отсчетом по круговой шкале ШЦК (*рис. 3.6, а*) или с цифровым отсчетным устройством ШЦЦ (*рис. 3.6, б*). Последние работают от встроенного источника питания с индикацией конечного результата измерения на дисплее.

Цена деления круговой шкалы отсчетного устройства составляет 0,02; 0,05 и 0,1 мм. Шаг дискретности цифрового отсчетного устройства составляет 0,01 мм.

Штангенциркули со значением отсчета по нониусу 0,1 мм и верхним пределом измерения до 400 мм и штангенциркули с отсчетом по круговой шкале с ценой деления 0,1 мм изготовляют двух классов точности: 1 и 2.



а *б*

Рис. 3.6. Отсчетные устройства штангенциркулей:
а – с круговой шкалой, *б* – с цифровой индикацией

Штангенглубиномер (*рис. 3.7*) отличается от штангенциркуля отсутствием неподвижных губок, а вместо подвижной губки на рамке *2* с нониусом *3* имеется плоское основание *4*. При измерении глубины изделия основание *4* своей плоскостью устанавливается на поверхность детали и штанга *1* перемещается до контакта с дном внутренней поверхности. Нулевой отсчет соответствует совмещению торца линейки *1* с основанием *4*. ГОСТ 162–80 предусматривает изготовление штангенглубиномеров с пределами измерения 0–200 и 0–320 мм и точностью отсчета по нониусу 0,1 мм.

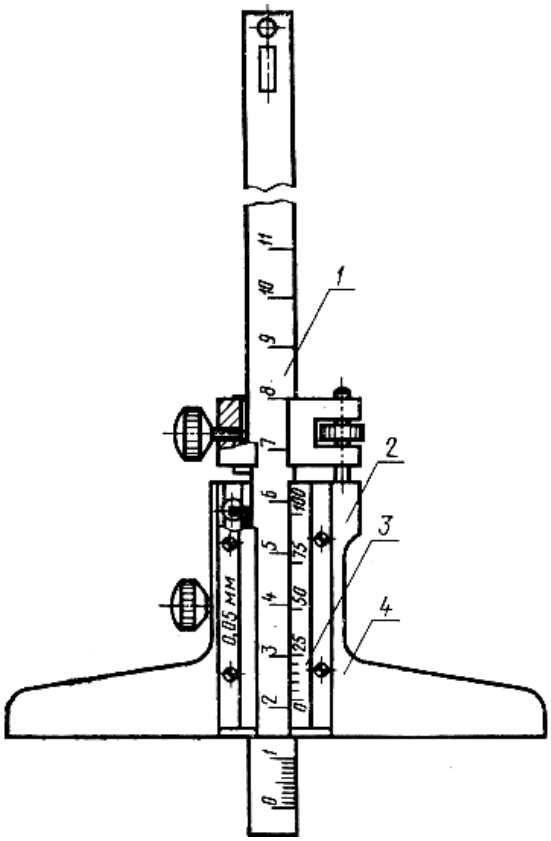


Рис. 3.7. Штангенглубиномер

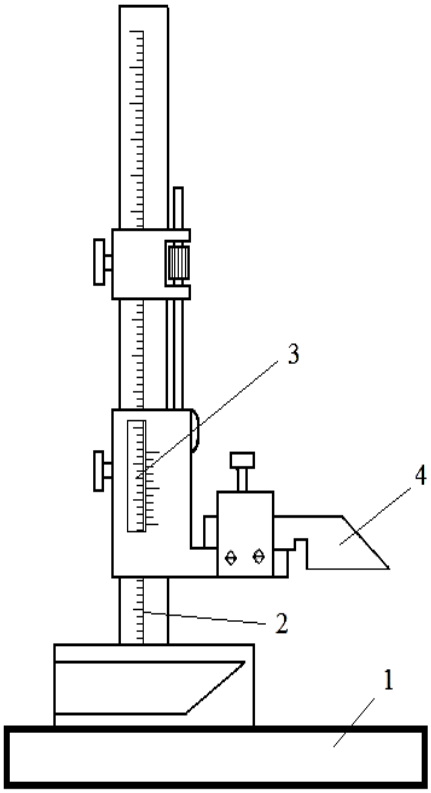


Рис. 3.8. Штангенрейсмас

Штангенрейсмас (*рис. 3.8*) предназначен для измерения высот и разметочных работ. От штангенциркуля отличается тем, что вместо губки штанги он имеет массивное основание *1* с точно обработанной плоскостью. По штанге *2* перемещается рамка *3*, в которой крепятся сменные губки 4 для разметки или для измерения наружных и внутренних поверхностей. ГОСТ 164–80 предусматривает изготовление штангенрейсмасов с точностью отсчета 0,1 и 0,05 мм и пределами измерения от 0–250 до 1500–2500 мм.

Погрешность любого штангенинструмента, выявляемая при поверке, обычно не превышает величины отсчета *i* по нониусу. *Погрешность измерения*, как правило, значительно больше и составляет до двух величин отсчетов при измерении наружных размеров (± *i*) и до трех величин отсчетов при измерении внутренних размеров (± 1,5*i*) [28].

Основной причиной большой погрешности измерения является погрешность отсчета, вызванная параллаксом. Ошибки от параллакса возникают в связи с тем, что штрихи шкалы линейки и нониуса расположены не в одной плоскости и при положении глаз оператора под разными углами наблюдается видимое относительное смещение штрихов.

В целях повышения надежности штангенинструменты изготовляют из материалов, не подвергающихся коррозии, с высокой износостойкостью, для чего используют закаленные стали, хромирование или армирование рабочих поверхностей губок твердым сплавом.

Пример условного обозначения штангенциркуля типа II с диапазоном измерения 0–250 мм и значением отсчета по нониусу 0,05 мм:

штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166.

То же, штангенциркуля типа I с диапазоном измерения 0–125 мм с шагом дискретности цифрового отсчетного устройства 0,01 мм:

штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01 ГОСТ 166.

3.2. Практическая работа со штангенинструментом

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- изучить устройство и принцип действия штангенинструмента;
- освоить методику измерения деталей и получить навыки работы со штангенинструментом;
- произвести измерение размеров детали и сделать заключение об их годности.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- комплект измерительного инструмента (штангенциркули ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III, ШЦЦ-I, ШЦК; штангенглубиномер; штангенрейсмас);
- стандарты – ГОСТ 25347–2013;
- контролируемые детали, их чертежи.

3.2.1. Порядок и методика проведения измерений

1. Изучить теоретическую часть работы (темы 2 и 3 п.1).

2. Получить индивидуальное задание: учебную деталь, чертеж детали (см. *приложение А*), комплект измерительных инструментов, таблицы ГОСТ 25347–2013.

3. Подготовить бланк отчета по работе (*приложение Б.1*) и занести в него технические характеристики применяемых штангенинструментов.

4. Изучить чертеж детали и записать в бланк отчета данные о поверхностях, подлежащих контролю, а именно:

– условные обозначения (d_1, d_2, ……D, B, L_1, L_2, …….);

– номинальные размеры и предельные отклонения;

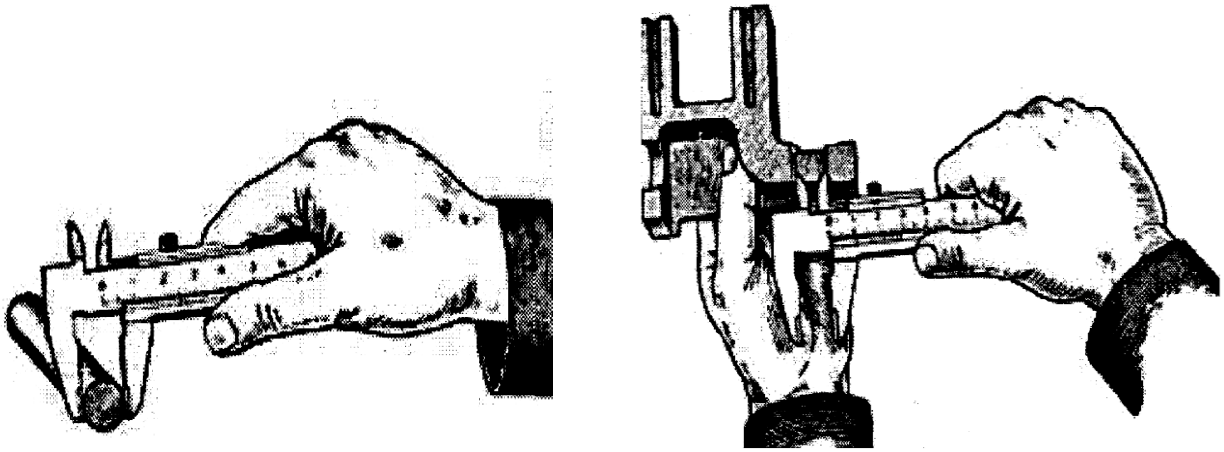
– предельные размеры (при необходимости их расчета можно использовать таблицы ГОСТ 25347–2013).

5. Перед началом измерений *проверить исправность штангенциркуля*. У исправного инструмента просвет между плотно сдвинутыми губками должен быть незаметен невооруженным взглядом (не более 3–6 мкм), а нулевые штрихи у штанги и нониуса точно совпадают (*рис. 3.4*). Губки по всей длине должны быть параллельными. Подвижная рамка вместе с рамкой микрометрической подачи передвигаются легко и без заедания. Обязательно наличие внутренней

пружины рамки и крепежных винтов. Не допускаются забоины, коррозия и царапины на рабочих поверхностях. Шкала инструмента должна быть чистой, хорошо читаемой.

6. Произвести измерения детали по L, l_1, l_2, l_3, B, D, d_1, d_2, … d_5, M. При этом следует пользоваться следующими правилами:

а) при измерении детали штангенциркуль держат рукой за штангу, а рамку перемещают большим пальцем руки за выступ рамки (*рис. 3.1, 3.9*);



а *б*

Рис. 3.9. Приемы измерения детали штангенциркулем:
а – наружного размера; *б* – внутреннего размера

б) *при измерении наружных размеров* деталь плотно с небольшим усилием, без зазоров и перекосов зажимается между внутренними поверхностями нижних губок (*рис. 3.9, а*), *при измерении внутренних размеров* наружные поверхности верхних губок приводятся в контакт со стенками отверстия (*рис. 3.9, б*). *Измерение глубины отверстия или паза* производится выдвижением линейки глубиномера (*рис. 3.10*);

в) при измерении цилиндрического наружного или внутреннего диаметра необходимо следить за тем, чтобы плоскость рамки была перпендикулярна его оси; не допускается измерение отверстия по хорде или под углом к его оси;

г) после установки инструмента на измеряемой поверхности следует застопорить рамку зажимным винтом и произвести отсчет. При отсчете размера следует смотреть на шкалу под прямым углом, иначе неизбежны ошибки вследствие параллакса.

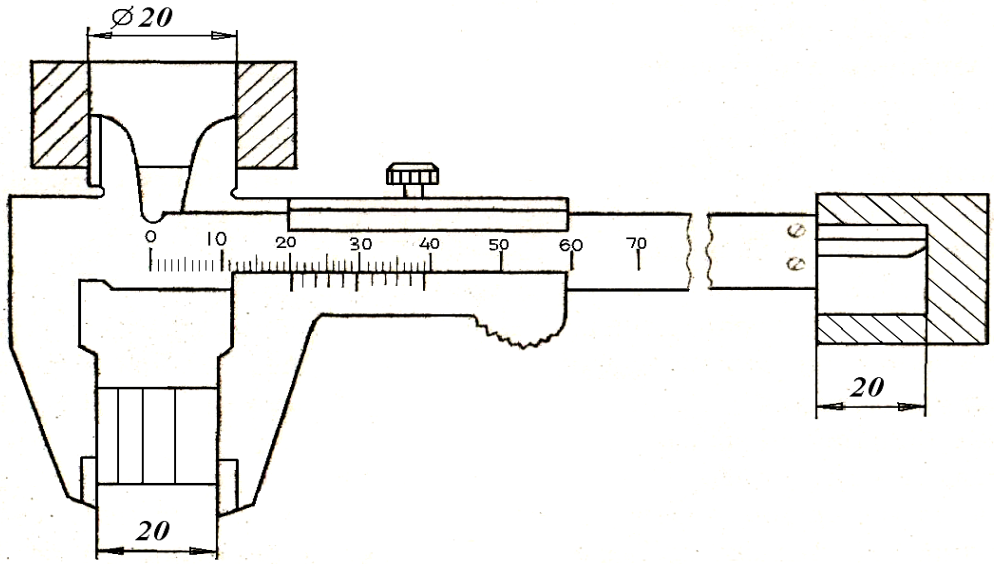


Рис. 3.10. Применение штангенциркуля ШЦ-I для измерения различных размеров

7. Записать результаты измерений в таблицу отсчета.

8. Сделать заключение о годности по каждому контролируемому размеру, сравнивая действительные размеры с предельными размерами.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные разновидности и назначение штангенинструментов.

2. Структура и принцип работы отсчетного устройства штангенинструмента.

3. Назначение штангенциркуля, его основные элементы.

4. Перечислите основные разновидности штангенциркулей, их конструктивные особенности.

5. Правила подготовки штангенинструмента к работе.

6. Последовательность проведения измерений штангенциркулем.

7. Каковы погрешность штангенинструментов и погрешность измерения штангенинструментом? Перечислите основные источники появления этих погрешностей.

4. РАБОТА С МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Устройство микрометрических инструментов

Из микрометрических инструментов на практике широкое применение находят микромеры гладкие типа МК для контроля наружных размеров деталей, микрометрические нутромеры и глубиномеры, а также специальные резьбовые, трубные, зубомерные и другие микрометры.

Общим для всех измерителей этой группы является наличие микрометрической винтовой пары, преобразующей вращательное движение микровинта в его перемещение вдоль оси, и отсчетного устройства в виде двух шкал (*рис. 4.1* и *4.2*). Измерительным элементом служит микрометрический винт с очень точным шагом резьбы P = 0,5 мм (реже 1,0 мм). Винт жестко связан с барабаном, на конусном торце которого нанесена шкала из 50 (реже – 100) штрихов.

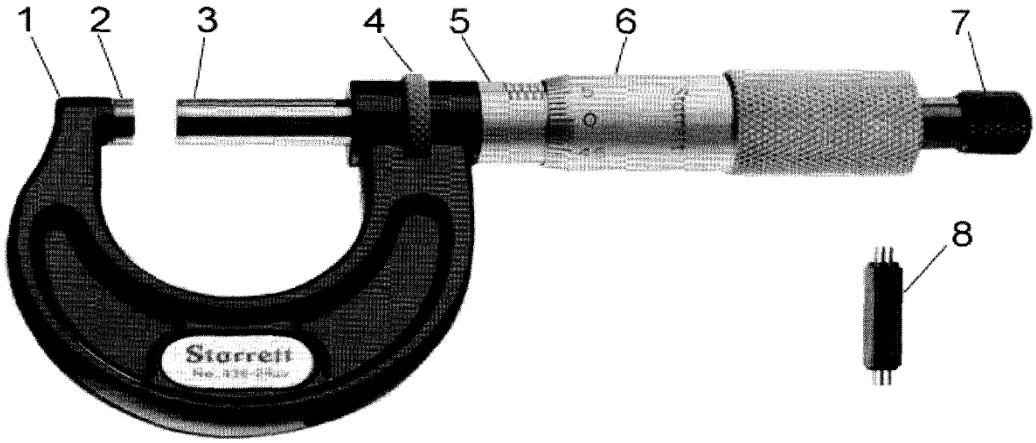


Рис. 4.1. Устройство гладкого микрометра типа МК-25:
1 – скоба; *2* – неподвижная пятка; *3* – микрометрический винт;
4 – стопорное устройство; *5* – стебель; *6* – барабан; *7* – трещотка
(или фрикцион); *8* – эталон для проверки и настройки инструмента
(для гладких МК свыше 25 мм)

Для всех микрометрических инструментов *величина отсчета* (понятие, близкое к понятию цены деления) i_M = 0,01 мм. Это определяется из условия, что одному обороту винта соответствует один полный оборот барабана с числом делений $n = 50$. Следовательно, для шага винта $P = 0{,}5$ мм величина отсчета по шкале барабана

$$i_м = \frac{P}{n} = \frac{0{,}5}{50} = 0{,}01\,\text{мм}.$$

Длина шкалы на стебле для микрометров до 300 мм составляет 25 мм, что обусловлено сложностью изготовления микрометрических винтов большей длины с требуемой точностью. Промышленность выпускает микрометры с пределами измерений 0–25, 25–50, 50–75,… и т. д. до 275–300 мм через каждые 25 мм [10].

На стебле нанесена продольная шкала *2* (*рис. 4.2*) с двумя продольными рядами миллиметровых делений, расположенными выше и ниже горизонтальной линии *1*. Шкала предназначенная *для отсчета полных оборотов* барабана при продольном перемещении микровинта. Пронумерованный (основной) ряд шкалы показывает количество целых миллиметров, а дополнительная шкала сдвинута относительно основной на величину шага винта P = 0,5 мм и служит

для отсчета половин миллиметров. Указателем для отсчета числа делений продольной шкалы служит конический торец барабана *3*.

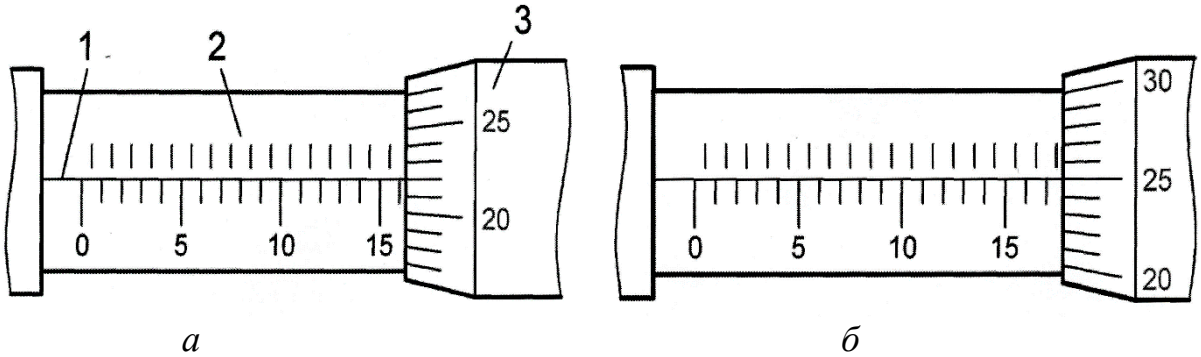


Рис. 4.2. Отсчетное устройство микрометрических инструментов:
а – размер 16,22 мм; *б* – размер17,75 мм

Отсчет десятых и сотых долей миллиметра производят по радиальным штрихам, нанесенным на коническом торце барабана. Указателем отсчета количества штрихов на круговой шкале барабана служит горизонтальная линия *1* на стебле.

Таким образом, отсчет размера на микрометрической головке производится по числу полных оборотов барабана и неполного оборота, а измеряемый размер определяется в соответствии с выражением

$$B = b + n \cdot i_M,$$

где B – измеряемый размер;

b – количество делений шкалы стебля, отсекаемое барабаном;

n – количество делений на коническом скосе барабана, указываемое продольной линией стебля;

i_M – величина отсчета микрометрической головки.

Излишний нажим микровинта на измеряемую поверхность может привести к искажению результата измерения, поэтому подвижный микрометрический винт снабжен храповиком (трещоткой) или фрикционной муфтой *7*, которые позволяют ограничить измерительное усилие до 9 Н.

Для фиксации микрометрического винта при настройке прибора или снятии показаний имеется стопор (винтовой зажим) *4*.

На практике *для измерения наружных размеров* плоских и цилиндрических деталей применяют микрометры МК с плоскими измерительными поверхностями и жесткой скобой (*рис. 4.1*), предел измерения которых от 0–25 до 500–600 мм.

Для измерения внутренних размеров деталей применяют микрометрические нутромеры (штихмасы) (*рис. 4.3*). Они состоят из микрометрической измерительной головки с двумя сферическими наконечниками (подвижным и неподвижным), которые обеспечивают двухточечный контакт с контролируемой поверхностью. Микрометрические нутромеры изготовляются с диапазоном измерения 50–75, 75–175, ... 4000–10000 мм. Измерение в столь широких пределах

достигается применением удлинителей от 25 мм. Установка и проверка нутромера производится по прилагаемой к нему установочной скобе или струбцине (*рис. 4.3*).

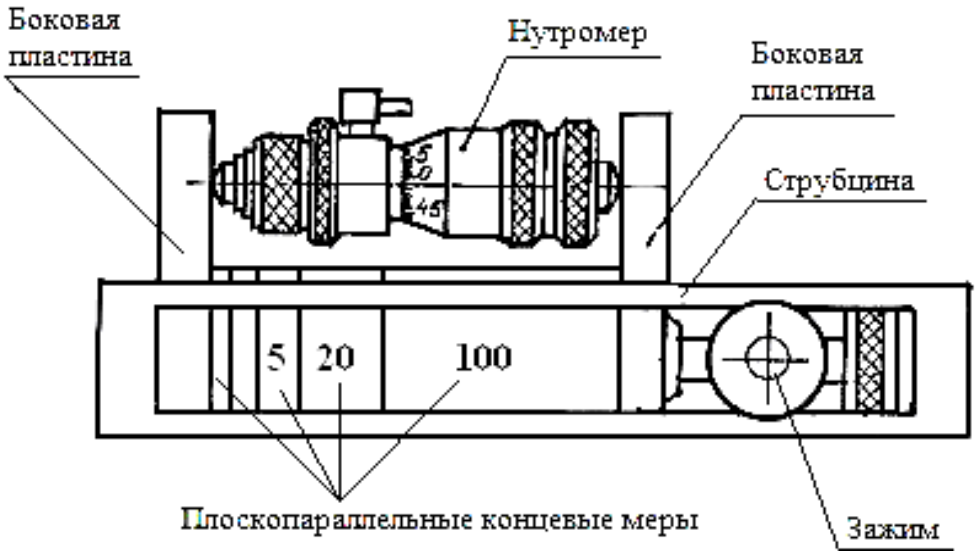


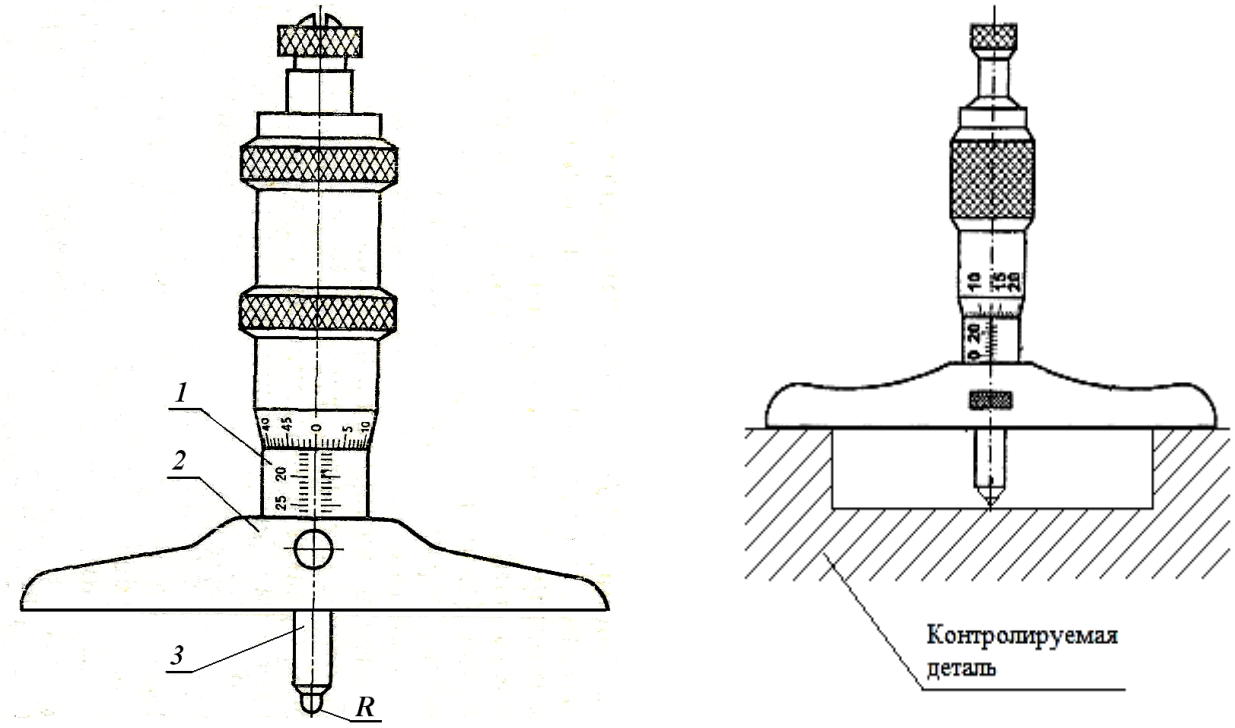
Рис. 4.3. Микрометрический нутромер (штихмас) в струбцине

Для измерения глубины пазов, отверстий и высоты уступов применяют микрометрические глубиномеры (*рис. 4.4*). Они состоят из микрометрической головки *1* и плоского основания *2*, расположенного перпендикулярно оси глубиномера. Диапазон измерения составляет 0–100 и 0–150 мм. Для измерений свыше 25 мм применяют набор сменных измерительных стержней *3*.

Глубиномеры укомплектовываются установочными мерами длиной 25, 65 и 125 мм.

Перед началом измерений любым микрометрическим инструментом необходимо проверить его *настройку на ноль* и, при необходимости, выполнить регулировку. Для перестановки барабана с делениями относительно горизонтальной линии стебля используют специальное зажимное устройство на конце измерительной головки.

Последние годы выпускают и применяют микрометрические инструменты с более высокой точностью измерения и величиной отсчета до 0,001 мм. Такие приборы могут быть электронными с цифровой индикацией или механического типа действия с отсчетом по нониусу (например, устройства для контроля различных перемещений на измерительных приспособлениях, координатных столах, микроскопах, станках и т. п.).



а *б*

Рис. 4.4. Микрометрический глубиномер:
а – общий вид: *1*– микрометрическая головка; *2* – основание;
3 – измерительный стержень; *б* – схема измерения

Микрометрическая измерительная головка может быть встроена в различного вида скобы, измерительные приборы, приспособления. Например, *рычажный микрометр* (*рис. 4.5*) имеет корпус в виде скобы *4* с двухточечной схемой измерения, в котором перемещение одного измерительного наконечника *2* выполняется с помощью микрометрического винта *3*, а другого *1* – с помощью стрелочного отсчетного устройства. Стрелочное отсчетное устройство может быть встроено в корпус или быть съемным.

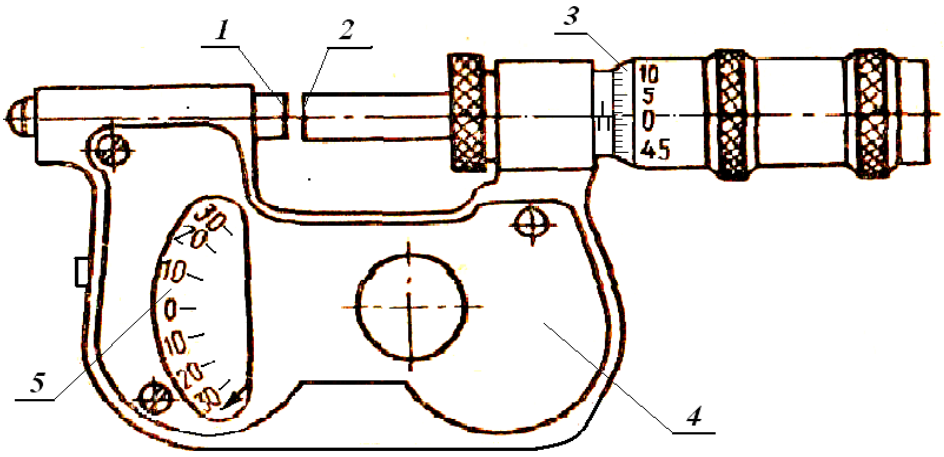


Рис. 4.5. Микрометр рычажный: *1*– пятка микровинта; *2* – измерительная пятка; *3* – микрометрическая головка; *4* – скоба; *5* – шкала

Таким образом, в рычажных микрометрах обе измерительные поверхности связаны с отсчетными устройствами. Одна измерительная поверхность *2* находится на конце микровинта *3,* и отсчет ее перемещения определяется по шкале микровинтовой пары, а перемещение другой измерительной поверхности *1* связано с механизмом стрелочного отсчетного устройства. Для определения размера детали, находящейся между измерительными поверхностями *1* и *2,* необходимо суммировать показания отсчетов по микропаре и по шкале *5* стрелочного отсчетного устройства.

Погрешность измерения микрометрическим инструментом выявляется при поверке прибора и обычно нормируется от ±4 до ±10 (±35) мкм. При использовании прибора в рекомендуемых для микрометров условиях измерений [28] эта величина зависит от диапазона измерения, непараллельности измерительных поверхностей, погрешности установочных мер, погрешности отсчета, погрешности от нагрева скобы руками оператора, погрешности от температурных и контактных деформаций. При этом погрешность измерения может оказаться существенно выше, если при работе оператор не пользуется устройством, ограничивающим измерительное усилие (трещотка, фрикцион).

4.2. Практическая работа по измерению микрометром

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- изучить устройство и принцип действия микрометрических инструментов, освоить методику измерения деталей и получить навыки работы с этими приборами;
- произвести измерение размеров детали микрометрами МК и МКЦ и сделать заключение о годности детали.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- комплект измерительного инструмента (микрометры МК-25, МКЦ-25, МК 25-50, МКЦ 25-50, нутромер и глубиномер микрометрический);
- стойки для микрометров;
- стандарты ГОСТ 25347–2013;
- контролируемые детали, их чертежи.

4.2.1. Порядок и методика проведения измерений

1. Изучить теоретическую часть работы (п. 2 и 4.1).

2. Получить индивидуальное задание: учебную деталь и ее чертеж (*приложение А*), комплект измерительных инструментов, ГОСТ 25347–2013.

3. Изучить технические характеристики применяемых микрометров и записать их в таблицу отчета (*приложение Б.1*).

4. Перед началом измерений *проверить исправность микрометра*, действие трещотки и стопорного устройства. У исправного инструмента вращение

микровинта должно осуществляться плавно, без осевого люфта и качки. Измерительные поверхности следует протереть чистой мягкой тканью.

5. Установить микрометр в стойку (*рис. 4.6*) и проверить его настройку «на нуль», пользуясь при этом следующими правилами:

а) при работе гладким микрометром МК-25 осторожным вращением микрометрического винта за трещотку (3–5 щелчков) приводят в соприкосновение измерительные поверхности пятки и микровинта; в этом положении нулевой штрих барабана должен совпадать с продольным штрихом стебля, а скос барабана открывает нулевой штрих стебля (показания прибора 0,00 мм);

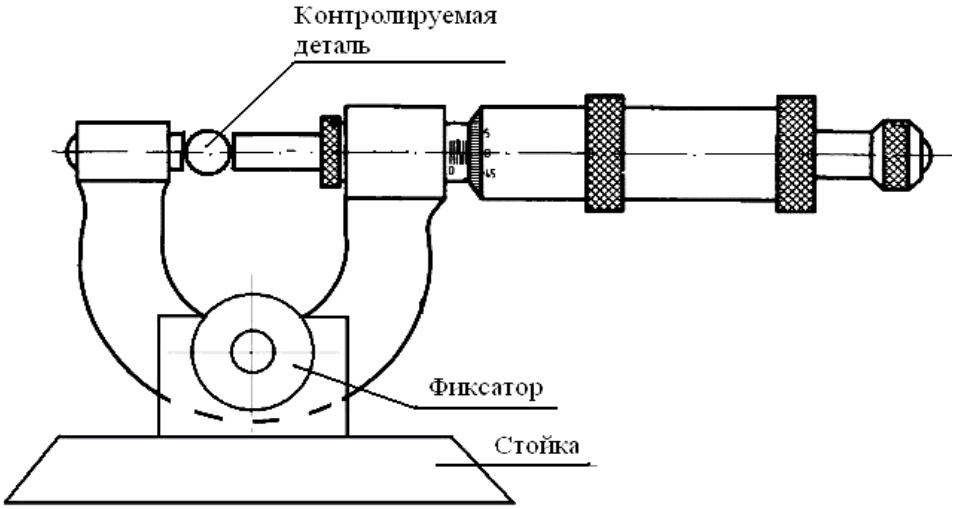


Рис. 4.6. Микрометр в стойке

б) если при проверке микрометра нулевое положение не устанавливается, следует закрепить микрометрический винт в нулевом положении стопорным винтом (поз. 4*, рис. 4.1*). Затем, придерживая барабан за накатанную часть одной рукой, отвернуть другой рукой корпус трещотки (достаточно полуоборота) и совместить нулевой штрих барабана с продольным штрихом стебля. После этого закрепить корпус трещотки, снять зажим стопорного винта и вновь проверить нулевую установку. В случае надобности следует повторить операцию;

в) для проверки микрометров с диапазоном измерений 25–50 мм, 50–75 мм и более используют соответствующие эталоны (поз. 8, *рис. 4.1* и *рис. 4.7*) или концевые меры длины.

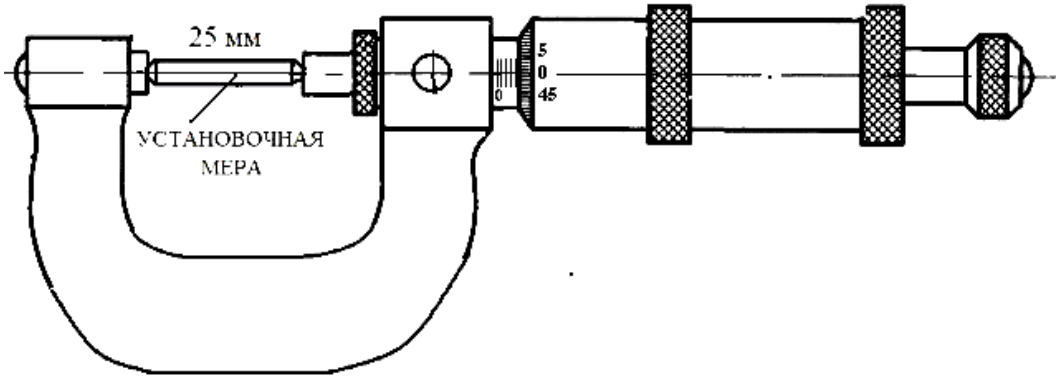


Рис. 4.7. Проверка нулевого положения микрометра МК 25-50 при помощи эталона (установочной меры)

6. Произвести измерения детали по d_1, d_2, d_3, *B, M,* пользуясь следующими правилами:

а) при измерении диаметра вала измерительные поверхности пятки и микровинта следует выставлять в диаметрально противоположных точках в осевом и радиальном направлениях;

б) при считывании значений размера с отсчетного устройства микрометра следует зафиксировать микрометрический винт стопорным устройством и произвести отсчет;

в) при отсчете показаний следует смотреть на шкалу микрометра под прямым углом с тем, чтобы правильно фиксировать штрихи целых и половинных долей миллиметров. Распространенной ошибкой является неверный учет штриха дополнительной шкалы (0,5 мм), который может быть неполностью открыт торцом барабана, что нередко приводит к ошибке в полмиллиметра. В этом случае можно проверить результат измерения с помощью штангенциркуля.

7. Записать результаты измерений в таблицу отчета.

8. Сделать заключение о годности по каждому контролируемому размеру, сравнивая действительные размеры с предельными размерами.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой микрометр? Каков его принцип действия и принцип отсчета показаний?

2. Что такое величина отсчета микрометрического инструмента и как она определяется?

3. Почему длина шкалы на стебле микрометра не должна превышать 25 мм?

4. Перечислите виды микрометрических инструментов и их назначение.

5. Поясните принцип действия гладкого микрометра МК и принцип отсчета показаний на микрометрической головке.

6. Каково назначение трещотки или фрикциона на микрометре?

7. Каковы назначение и принцип действия штихмаса и микрометрического глубиномера?

8. В чем заключается двухточечная схема измерения? Каковы достоинства и недостатки такой схемы.

9. Что представляет собой рычажный микрометр? Поясните принцип измерения на этом приборе.

10. Как проверить исправность микрометра?

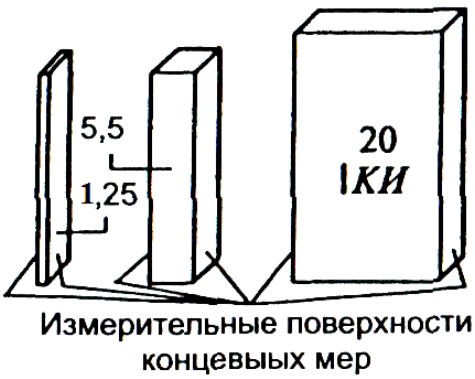
5. ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ КОНЦЕВЫЕ МЕРЫ ДЛИНЫ. УГЛОВЫЕ МЕРЫ

5.1. Устройство и принцип использования

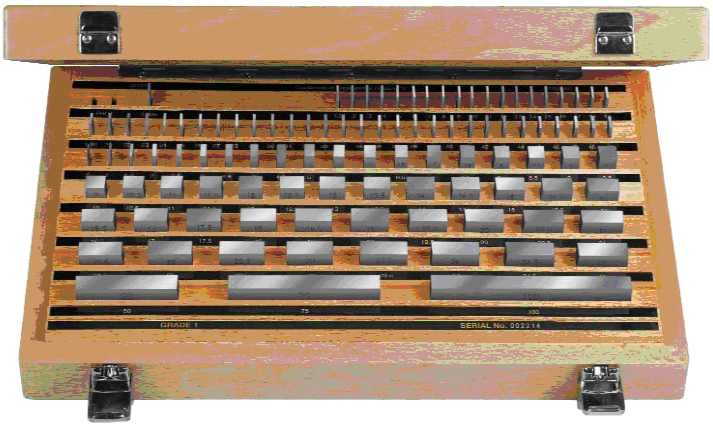
5.1.1. Плоскопараллельные концевые меры длины

Плоскопараллельные концевые меры длины (КМД, концевые меры, плитки Иогансона) представляют собой образцовые меры длины (эталоны) от 0,1 до 1000 мм, выполненные в форме прямоугольного параллелепипеда или реже цилиндра, с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями (*рис. 5.1, а*). Благодаря тщательной обработке и доводке этих поверхностей каждая плитка имеет строго определенный точный размер, например: 1,005; 1,27; 3,5; 20 мм.

Концевые меры выпускают в виде наборов, находящихся в деревянных или пластмассовых футлярах, в которых каждая мера занимает отдельное место с указанием её номинального размера (*рис. 5.1, б*). К каждому набору прилагается паспорт, в котором указывается номинальная длина каждой меры и отклонения.



а



б

Рис. 5.1. Плоскопараллельные концевые меры:
а – общий вид; *б* – набор КМД в футляре

Технические требования, форма и размеры концевых мер, их комплектация в наборы, классификация по точности, правила поверки и калибровки установлены в стандартах [11], [30].

Плоскопараллельные концевые меры используются в следующем качестве:

рабочих мер для регулировки и настройки измерительных приборов и непосредственного измерения точных линейных размеров изделий, для точных разметочных работ, настройки контрольных приспособлений и станков, при лекальных, слесарных, сборочных и регулировочных работах;

образцовых мер для передачи размера единицы длины от первичного эталона до изделия, поверки и градуировки измерительных приборов, установки приборов на ноль при относительных измерениях.

Материалом КМД может служить закаленная сталь, твердый сплав или керамика. Концевые меры длины, изготовленные *из закаленной хромистой стали*, имеют достаточную износостойкость и большой срок службы, хорошо притираются с другими мерами. Недостатком их является чувствительность к царапинам и износу рабочих поверхностей, возможность коррозии, они требуют тщательного ухода.

КМД, изготовленные из высокопрочного твердого сплава, в 2,5–3 раза более износоустойчивы по сравнению со стальными мерами, но обладают большим весом, что ограничивает возможность сборки блоков большого размера.

КМД, изготовленные из керамики (алюмооксид, двуокись циркония), исключительно устойчивы к износу и царапинам рабочих поверхностей. Они практически не подвержены коррозии, не боятся влажных рук контролёра, имеют низкую теплопроводность, не намагничиваются, не требуют специального ухода, имеют малый вес, но существенно дороже стальных.

Главное достоинство КМД состоит в том, что они являются точным и надежным материальным носителем размера, сохраняют размер и форму в течение многих лет. Кроме того, благодаря тщательной обработке рабочих поверхностей концевые меры обладают свойством *притираемости* – способностью концевых мер сцепляться между собой либо с плоскими кварцевыми или стеклянными пластинами при их наложении и взаимном перемещении (*рис. 5.2, а*). Притираемость позволяет собирать пластины в блоки любого размера с высокой точностью (*рис. 5.2, б*).

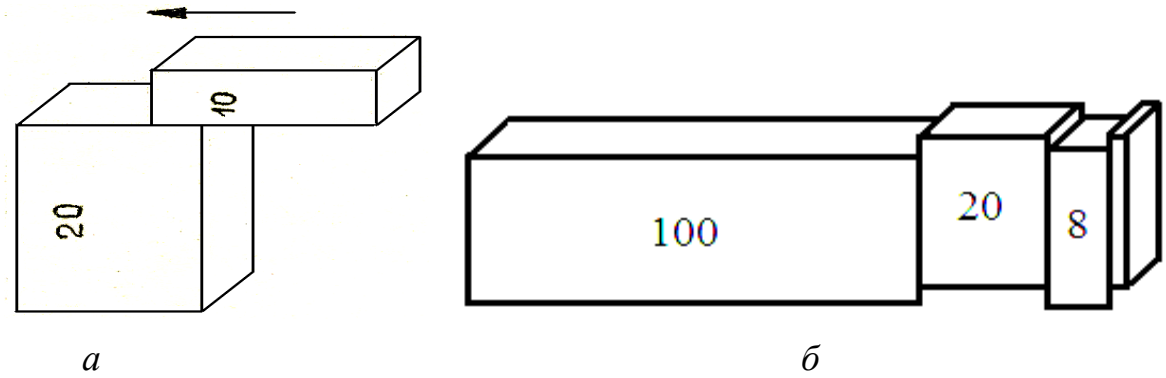


Рис. 5.2. Притирка плоскопараллельных концевых мер длины:
а – направление притирки; *б* – притёртый блок КМД

Притираемость КМД обеспечивается силами молекулярного притяжения тончайших смазочных пленок, постоянно присутствующих на их поверхностях. Концевые меры, абсолютно обезжиренные или с наличием слоя смазки на поверхности более 0,02 мкм, не притираются. Сцепление же притертых мер столь велико, что блок, собранный, например, из 50 плиток, не рассыпается под собственным весом. Усилие сцепления составляет не менее 30–40 Н.

Концевые меры выпускаются наборами в количестве от 7 до 116 шт. с таким расчетом, чтобы можно было составить блоки требуемых размеров из возможно меньшего количества мер (обычно не более 5). *Градация (шаг)* размеров КМД в различных наборах принята через 0,001; 0,01; 0,1 мм для размеров от 0,5 до 25 мм; через 0,5 для размеров от 0,5 до 25 мм; через 10 мм для размеров свыше 10 до 100 мм. Для больших размеров (свыше 25 до 1000 мм) применяются градации 25; 50 и 100 мм.

На каждой мере гравируется ее номинальный размер. На мерах размером до 5,5 мм номинальный размер наносится на одной из измерительных поверхностей, на мерах размером свыше 5,5 мм – на боковой нерабочей поверхности (*рис. 5.1, а* и *рис. 5.2*).

Наибольшее распространение получил основной набор из 87 шт. Такой набор позволяет составлять блоки с размерами через 0,005 мм и имеет в своём составе следующие концевые меры длины:

Номинальные размеры и градация, мм	Количество, шт.
1,005	1
1,01; 1,02; 1,03; … 1,49 (через 0,01)	49
1,6; 1,7; 1,8; 1,9 (через 0,1)	4
0,5; 1; 1,5; … 9,5 (через 0,5)	19
10; 20; 30; … 100 (через 10)	10
1; 1; 2; 2 (защитные меры)	4

Точность концевых мер длины определяется величиной отклонений срединой длины меры от номинального размера, отклонения их от плоскостности и параллельности и качеством притираемости.

В соответствии с [11] концевые меры из стали и твердого сплава должны быть изготовлены *4-х классов точности* – 0, 1, 2 и 3, из которых наиболее точным является 0-й класс. Кроме того, по согласованию между потребителем и изготовителем концевые меры из стали и твердого сплава изготавливают классов точности 00 и 01.

В стандарте [11, *табл. 3*] установлены допускаемые отклонения длины концевых мер и отклонения от плоскопараллельности измерительных поверхностей. Используя эти данные, можно установить наибольшую погрешность $\Delta_{наиб}$ размера блока мер определенного класса точности по формуле

$$\Delta_{наиб} = \pm (\Delta_1 + \Delta_2 + ... + \Delta_n), \qquad (5.1)$$

а также наиболее вероятную суммарную погрешность Δ_Σ блока по формуле

$$\Delta_\Sigma = \pm \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_1^2 + ... + \Delta_n^2}\ , \qquad (5.2)$$

где Δ_1, Δ_2, ..., Δ_n – допускаемые отклонения отдельных мер в блоке.

В случае использования КМД в качестве образцовых им присваивают *разряды* – 1, 2, 3 и 4 в зависимости от погрешности измерения при аттестации (поверке) концевых мер. При выпуске из производства на образцовые меры наносят отличительный знак [25].

Для удобства использования концевых мер длины к ним выпускают *наборы принадлежностей ПК* (*рис. 5.3*), в состав которых входят державки (стяжки) *1* для крепления блоков концевых мер с боковиками, боковики с плоскими и радиусными поверхностями *2* для выполнения измерений, а также специальные чертильные и центровые боковики. Примеры применения державки в сочетании с боковиками для измерения размеров, настройки приборов или разметки приведены на *рис. 5.4*.

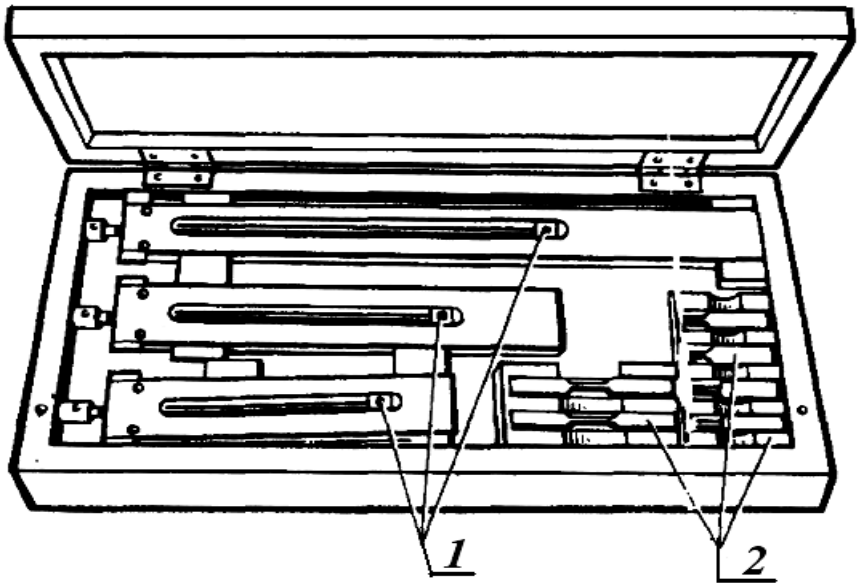


Рис. 5.3. Набор принадлежностей ПК к плоскопараллельным концевым мерам длины: *1* – державки для крепления блоков концевых мер; *2* – боковики

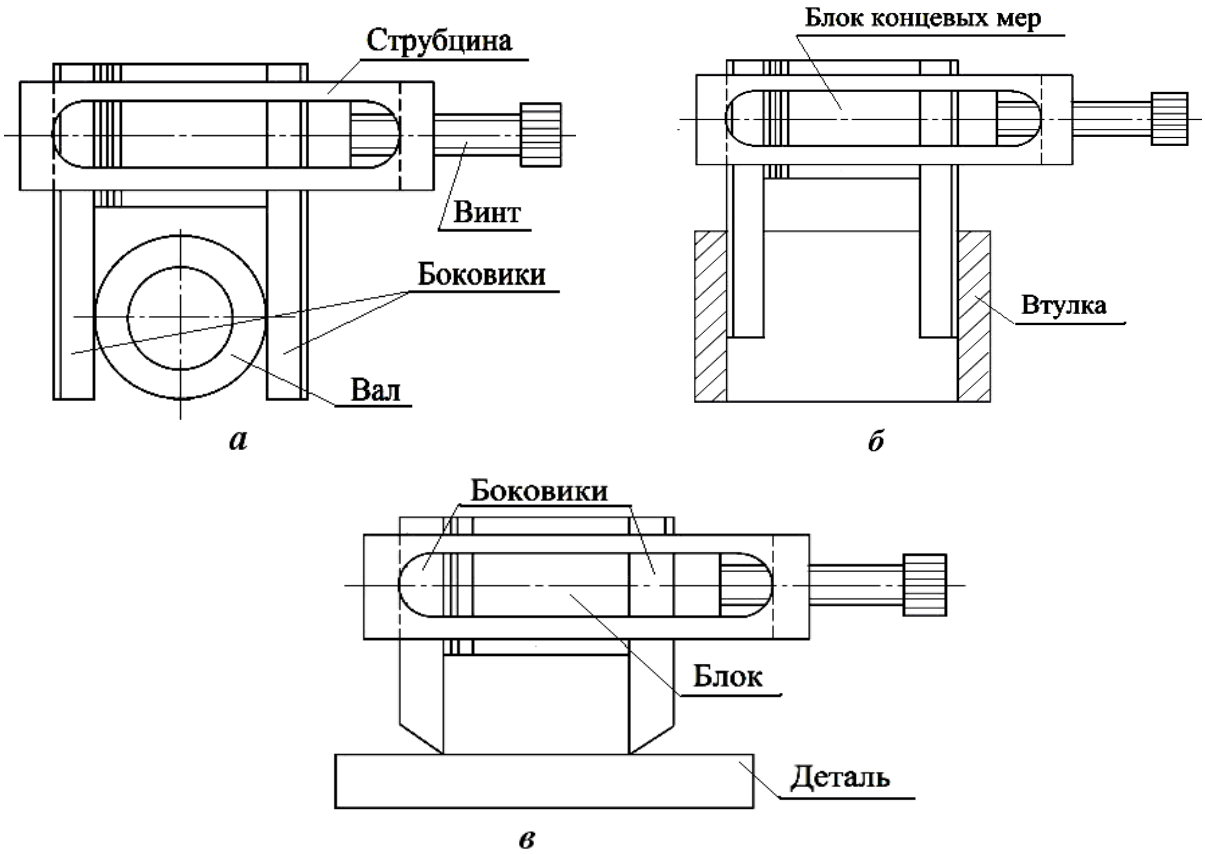


Рис. 5.4. Применение концевых мер:
а – измерение диаметра вала; *б* – измерение диаметра втулки;
в – разметка

5.1.2. Угловые меры

Угловая мера – средство измерений, предназначенное для хранения и передачи единицы плоского угла, проверки и градуировки угломерных и угловых шаблонов, а также для контроля углов изделий.

Угловые меры выполняются в виде призм [9]. По конструкции угловые меры аналогичны плоскопараллельным концевым мерам длины, которые в принципе можно рассматривать как частный случай угловых мер с рабочим углом 180°.

Наибольшее применение имеют следующие виды угловых мер:

– типа I – с одним рабочим углом α, образованным соседними измерительными поверхностями, со срезанной вершиной (*рис. 5.5, а*);

– типа II – с одним рабочим углом α остроугольного типа (*рис. 5.5, б* и *5.6*);

– типа III – с четырьмя рабочими углами α, β, γ, δ (*рис.5.5, в*);

– типа IV – многогранные призмы с равномерным угловым шагом α, β, γ, δ (*рис. 5.5, г*);

– угловые меры для поверки синусных линеек.

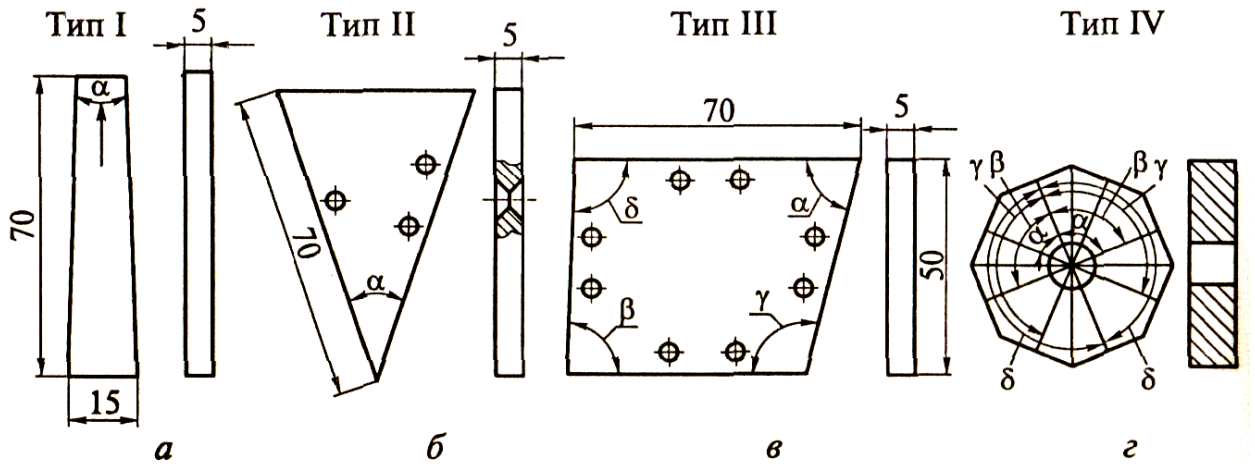


Рис. 5.5. Угловые меры: *а* – с одним рабочим углом со срезанной вершиной; *б* – с одним рабочим углом остроугольные; *в* – с четырьмя рабочими углами; *г* – многогранные с равномерным угловым шагом

Угловые меры выпускают в виде отдельных мер или комплектных наборов из 3, 7, 8, 24, 33 и 93 шт., позволяющих собрать любой угол с градацией в 2°, 1°, 10′, 2′, 1′, 30′′ и 15′′.

Угловые меры изготавливают четырех классов точности – 00; 0; 1 и 2, в которых они различаются по величине допускаемых отклонений на рабочие углы и требованиям к вспомогательным поверхностям.

Рабочие поверхности угловых мер также обладают свойством притираемости, благодаря чему из угловых мер можно составлять блоки, значения углов которых будут определяться суммой углов мер, входящих в блоки. В отличие от КМД угловые меры при составлении их в блок не вносят погрешностей в суммарный размер блока из-за влияния притирочных слоев.

В целях повышения точности измерений угловые меры аттестуют *на разряды* 1, 2, 3 и 4 [25]. Такие меры применяют в качестве образцовых средств для передачи размера угла рабочим мерам, угломерным приборам и устройствам, а также для поверочных работ.

Угловые меры, как и КМД, применяются отдельно, либо собираются в блоки путем притирания из нескольких плиток (*рис. 5.6*). Но эти блоки менее надежны в соединении, чем из КМД, поэтому чаще угловые меры собираются в специальных струбцинах (державках). С этой целью к мерам может быть приложен комплект принадлежностей для крепления мер (струбцины, клинья, винты).

Применение угловых мер осуществляется в основном двумя способами.

При первом – угловая мера или блок мер с углом, равным номинальному углу проверяемой детали, прикладывается к одной стороне угла и определяется совпадение по второй стороне. При несовпадении определяется отклонение по просвету.

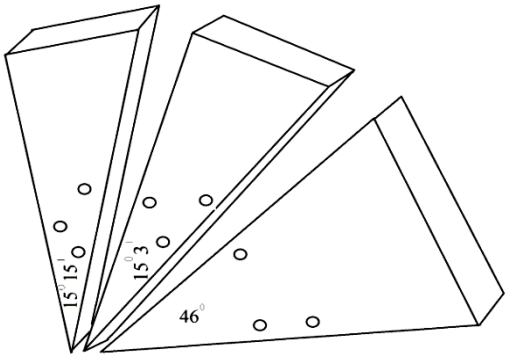


Рис. 5.6. Остроугольные угловые меры перед притиркой

При втором способе использования угловая мера применяется в качестве установочной меры, и отклонение угла определяется по показаниям измерительной головки. Далее линейные отклонения легко пересчитать в угловые, и наоборот.

Угловые меры изготавливают из стали марок Х; ХГ; ШХ15, а также из оптического стекла К8 и ЛК7 или из плавленого кварца.

Кроме перечисленных выше угловых мер для производственных измерений и в поверочной практике находят широкое применение угловые меры с углом между гранями 90° – *угольники поверочные 90°*. Угольники предназначены для измерения отклонений от взаимной перпендикулярности плоскостей деталей и узлов, а также их относительных перемещений. Типы угольников: УЛ – лекальные, УЛП – лекальные плоские, УЛЦ – лекальные цилиндрические, УП – слесарные плоские, УШ – слесарные с широким основанием.

К угловым мерам относятся также *синусные линейки*, работающие по тригонометрическому методу измерений и предназначенные, в основном, для контроля углов конусов.

5.2. Практическая работа с концевыми мерами длины

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- изучить назначение и характеристику плоскопараллельных концевых мер, усвоить правила набора блоков из концевых мер и получить навыки работы с КМД;
- освоить методику настройки приборов при помощи блоков концевых мер и проведения измерений относительным методом (на примере рычажного микрометра и скобы).

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- наборы плоскопараллельных концевых мер длины;
- рычажные скобы (пассаметры) и рычажные микрометры;
- стандарты – ГОСТ 25347–2013;
- контролируемые детали, их чертежи.

5.2.1. Порядок и методика проведения измерений

1. Изучить теоретическую часть работы (темы 2 и 5, п.1).

2. Получить индивидуальное задание: комплект деталей с чертежом, средства измерений, ГОСТ 25347–2013.

3. Изучить техническую характеристику применяемых средств измерений и записать их в таблицу отчета (*приложение Б.2*).

4. Перед началом измерений проверить комплектность набора КМД и исправность рычажной скобы или рычажного микрометра.

5. Подобрать *теоретически* концевые меры длины для указанного преподавателем размера. Расчет количества плиток следует начинать с подбора наименьших по размеру мер. Для того чтобы набрать требуемый размер из минимального числа пластин, следует подобрать в первую очередь меры, размер которых имеет тысячные доли миллиметра, затем – сотые, десятые и лишь после них берут пластины размером в целые миллиметры и десятки миллиметров.

Например, требуется составить блок с размером 34,685 мм,

размер первой меры для блока возьмем	1,005 мм
остаток составляет	33,68 мм
размер второй меры принимаем	1,18 мм
остаток составляет	32,5 мм
размер третьей меры принимаем	2,5 мм
размер четвертой меры принимаем	30,0 мм
остаток	0 мм.

Таким образом, для блока заданного размера следует взять из набора КМД следующие пластины: 1,005 + 1,18 + 2,5 + 30,00 мм = 34,685 мм.

6. Выбранные для составления блока меры предварительно следует очистить ватой от смазки, промыть уайт-спиритом или бензином и вытереть насухо чистой салфеткой. После этого прикасаться руками к измерительным поверхностям концевых мер длины не рекомендуется.

7. При работе с плитками следует соблюдать такие правила:

– не брать рабочие поверхности промытых концевых мер грязными руками;

– концевые меры размером свыше 3,5 мм класть на стол только на нерабочие поверхности;

– не притирать рабочую поверхность концевой меры к нерабочей во избежание появления царапин;

– в блок набирать не более 4–5 мер для уменьшения его погрешности;

– для предохранения плиток от быстрого износа и повреждения целесообразно применять защитные концевые меры толщиной 1 мм или 1,5 мм по обеим сторонам блока.

8. Выполнить притирку выбранных плиток в порядке, обратном расчету: взять сначала плитку наибольшего размера, затем следующие по длине и, наконец, самую малую меру. В рассмотренном выше примере сначала притирают

меры 30 и 2,5 мм, а затем к блоку КМД добавляют концевую меру 1,18. Мера 1,005 мм притирается последней.

Во время притирки для обеспечения прочного сцепления рабочих поверхностей одну из концевых мер наложить на вторую примерно на треть рабочей поверхности и, плотно прижимая пальцами, продвигать до полного контакта рабочих поверхностей (рис. 5.7).

Примечание. Если плитки недостаточно плотно притираются друг к другу, их рабочие поверхности смачивают раствором чистого вазелина в бензине (0,3–0,5 г вазелина на 2 см^3 авиационного бензина) и после высыхания бензина вновь притирают.

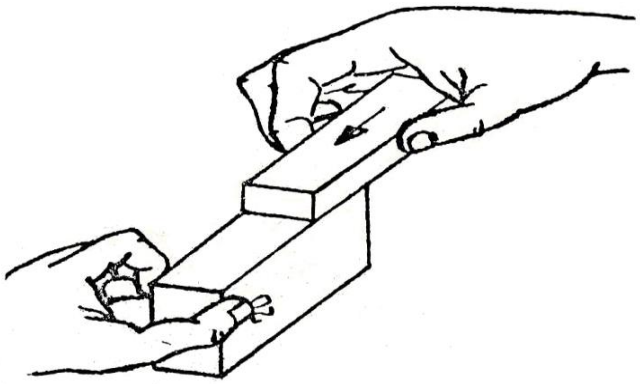


Рис. 5.7. Притирка плоскопараллельных мер длины

9. После окончания измерений блок следует разобрать, концевые меры промыть в уайт-спирите или бензине, протереть салфеткой, смазать и положить в соответствующие ячейки футляра набора.

10. Определить наибольшую и наиболее вероятную погрешность набранного блока концевых мер, используя *табл. 5.1* и формулы (5.1) и (5.2).

11. Результаты работы оформить в виде отчета (*приложение Б.2*).

Таблица 5.1. **Допускаемые отклонения длины концевых мер в зависимости от классов точности (11)**

Номинальные значения длины концевых мер, мм	Допускаемые отклонения длины от номинального значения ±, мкм, для классов точности					
	00	01	0	1	2	3
Св. 0,29 до 0,9	-	-	0,12	0,20	0,40	0,80
Св. 0,9 до 10	0,06	0,20	0,12	0,20	0,40	0,80
Св. 10 до 25	0,07	0,30	0,14	0,30	0,60	1,20
Св. 25 до 50	0,10	0,40	0,20	0,40	0,80	1,60
Св. 50 до 75	0,12	0,50	0,25	0,50	1,00	2,00
Св. 75 до 100	0,14	0,60	0,30	0,60	1,20	2,50
Св. 100 до 150	0,20	0,80	0,40	0,80	1,60	3,00

5.3. Настройка рычажной скобы СР при помощи блока КМД

Устройство и метрологическая характеристика рычажной скобы. Рычажная скоба с отсчетным устройством типа СР, как и рычажные микрометры типов МР, МРЗ и МРИ (см. п. 4.1), представляет собой измерительное средство с двухточечной схемой измерения. Отличие их состоит лишь в том, что у рычажной скобы отсутствует шкалы на стебле и барабане и отсчет размера осуществляется только с помощью стрелочного отсчетного устройства.

Для размеров до 150 мм скобы изготавливают со встроенным в корпус отсчетным устройством, а для размеров до 1000 мм – со съемной отсчетной стрелочной головкой. Скобы со встроенной в корпус отсчетной головкой часто называют по-старому «скобы рычажные», за границей – «пассаметрами» (*рис. 5.8*), а скобы со съемной отсчетной головкой иногда называют «индикаторными скобами», так как в качестве отсчетной головки применяют индикатор часового типа.

Цена деления отсчетного устройства рычажной скобы СР составляет 0,002 мм, диапазон показаний шкалы ±0,14 мм, пределы измерения – от 0...25 до 125...150 мм через 25 мм. Погрешность измерения рычажной скобы с использованием установочного блока концевых мер для скоб со встроенным механизмом может быть от 4 до 25 мкм (для размеров соответственно до 25 мм и до 120–150 мм), а при работе на малом участке шкалы (в пределах 10 делений) соответственно от 2 до 5 мкм [21] , [28].

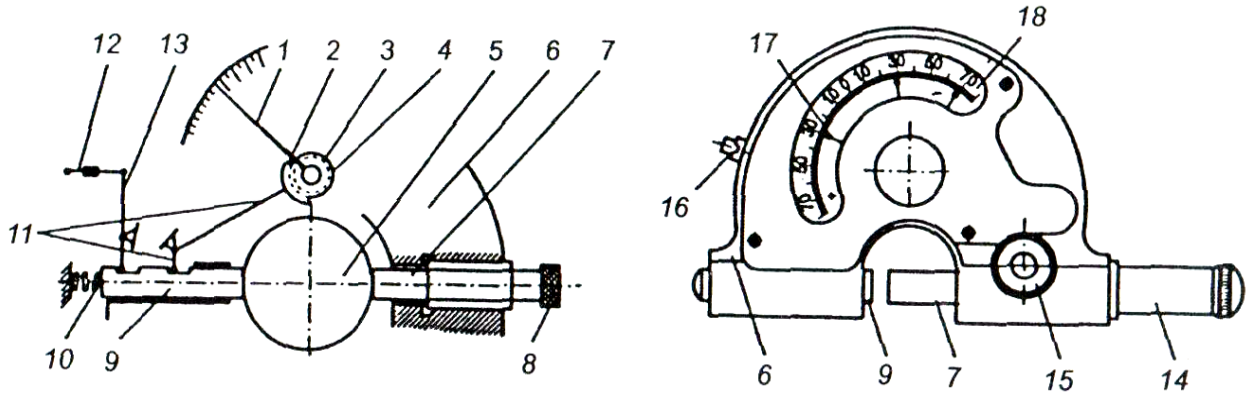
Промышленность выпускает также рычажные скобы типа СРЦ с цифровым отсчетом измеряемой величины в миллиметрах, в десятых и сотых долях миллиметров.

С помощью скоб с отсчетным устройством можно производить измерение наружных размеров изделий только относительным методом сравнения с мерой, т. е. перед измерением скоба должна быть настроена на измеряемый размер, чаще всего с помощью концевых мер длины, и по отсчетному устройству определяется отклонение измеряемого размера от настроенного.

Схема скоб со встроенным механизмом такая же, как и рычажных микрометров. Скоба состоит из неподвижной при измерении пятки *7* и подвижной измерительной пятки *9* (*рис. 5.8*). Перемещение последней через рычаг *11* и зубчатый сектор *2* передается на зубчатое колесо (триб) *4*, на оси которого находится стрелка *1*. При нажиме на арретир *16* измерительная пятка *9* может отодвигаться, предохраняя от повреждения измерительные поверхности при установке детали *5*.

Неподвижная при измерении пятка *7* при установке прибора на нуль по блоку концевых мер смещается с помощью микровинта *8* и стопорится с помощью зажима *15*.

На шкале *18* имеются два указателя допусков – стрелки *17*, которые можно закрепить на определенных делениях шкалы в соответствии с отклонениями предельных размеров партии измеряемых деталей.



а *б*

Рис. 5.8. Рычажная скоба с отсчетным устройством: *а* – схема; *б* – общий вид; *1* – стрелка; *2* – зубчатый сектор; *3* – спиральная пружина; *4* – зубчатое колесо (триб); *5* – объект измерения; *6* – корпус; *7* – неподвижная (регулируемая) пятка; *8* – микровинт для настройки; *9* – подвижная (измерительная) пятка; *10* – пружина; *11* – измерительный рычаг; *12* – стержень арретира; *13* – рычаг арретира; *14* – предохранительный колпачок; *15* – гайка фиксатора; *16* – кнопка арретира; *17* – стрелки; *18* – шкала

Работа с рычажной скобой. Настройка прибора и контроль деталей осуществляется следующим образом:

1. Ознакомиться с устройством рычажной скобы и проверить её исправность.

2. Составить блок концевых мер по номинальному или среднему из предельных размеров измеряемых деталей.

3. Отвинтить и снять предохранительный колпачок *14* и вращением микрометрического винта *8* раздвинуть измерительные пятки, установив между ними приблизительно величину размера детали.

4. Поместить блок концевых мер между измерительными пятками и вращением микровинта *8* передвигать пятку *7* до тех пор, пока стрелка не остановится на нулевом делении шкалы *18.*

5. Закрепить гайку *15* и, нажимая на арретир *16*, проверить нулевую установку.

6. Установить вместо блока концевых мер деталь *5* и произвести её измерения. Записать показания прибора в отчет и выполнить расчет действительных размеров детали, который будет равен сумме размера *B* блока концевых мер и показаний прибора Δ с учетом знака отклонения стрелки, т. е. по формуле $D=B+(-)\,\Delta$ или $L=B+(-)\,\Delta$.

Произвести измерения для всей партии деталей и сделать заключение об их годности.

7. Результаты работы записать в таблицу отчета (*приложение Б.2*).

Контрольные вопросы

1. Каковы назначение и достоинства плоскопараллельных концевых мер длины?

2. Каковы конструктивная форма и разновидности концевых мер длины?

3. Как производится маркировка и комплектация КМД?

4. Перечислите материалы, применяемые для изготовления плоскопараллельных КМД.

5. Поясните причины притираемости концевых и угловых мер, перечислите условия и способы обеспечения притираемости.

6. Как классифицируют КМД по их точности? Как определить суммарную погрешность блока КМД?

7. Назовите состав и назначение элементов, входящих в комплект принадлежностей к КМД.

8. Каковы назначение и разновидности угловых мер, особенности их применения?

9. Поясните правила подбора пластин и составления из них блока концевых или угловых мер.

10. Поясните назначение и устройство рычажных скоб. Каков порядок их настройки на размер при помощи КМД?

6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

6.1. Устройство и принцип действия

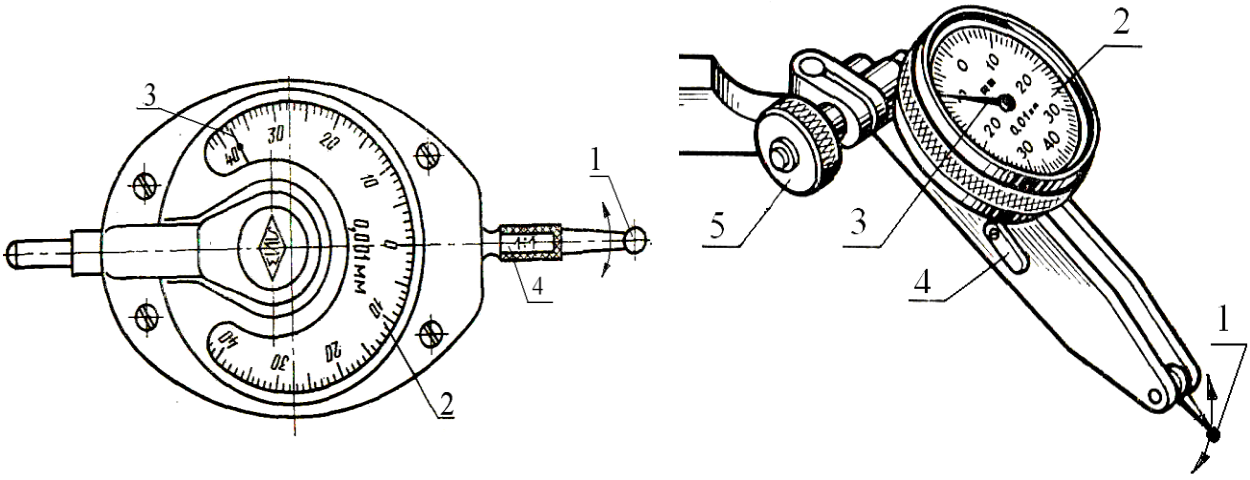
Измерительные головки являются наиболее распространенными видами универсальных инструментов для относительных измерений, они широко применяются для контроля отклонений формы и расположения поверхностей. По конструкции и принципу действия различают головки с пружинным, рычажно-зубчатым и зубчатым механизмом [20], [24].

В пружинных измерительных головках основными элементами передаточного механизма являются упругие элементы – пружина плоская или свернутая, торсионный вал. На базе пружинного механизма головки изготавливают в основном четырех видов: головки пружинные (микрокаторы); головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы); головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) и головки измерительные рычажно-пружинные (миникаторы) (*рис. 6.1, а*), измерительный наконечник которых может быть установлен под углом к корпусу.

Измерительные головки с рычажно-зубчатым механизмом выполняют двух видов:

а) *рычажно-зубчатые индикаторы*, передаточный механизм которых состоит из рычажной и одной или двух зубчатых пар; по своей конструкции они

представляют собой однооборотные головки с измерительным боковым наконечником бокового действия, поэтому наиболее удобны для измерений в труднодоступных местах (биения, уступы, отклонения формы и расположения поверхностей).



а *б*

Рис. 6.1. Измерительные головки с наконечником бокового действия:
а – рычажно-пружинная (миникатор); *б* – рычажно-зубчатый индикатор ИРБ:
1 – наконечник, *2* – шкала, *3* – стрелка, *4* – переключатель, *5* – шарнир

Эти приборы выпускаются двух типов: ИРБ – со шкалой, параллельной оси измерительного наконечника (*рис. 6.1, б*), и ИРТ – со шкалой, перпендикулярной оси наконечника. Цена деления составляет 0,01 мм и реже 0,002 мм, диапазон измерения соответственно 0,8 и 0,2 мм. Для удобства работы у большинства рычажно-зубчатых индикаторов измерительный наконечник поворачивается в правую или левую сторону с помощью переключателя;

б) *рычажно-зубчатые измерительные головки* осевого действия с передаточным механизмом из рычажных и зубчатых передач, позволяющим уменьшить цену деления до 0,001 (0,002) мм. Рычажно-зубчатые головки разделяют на однооборотные (ИГ) с диапазоном показаний ± 0,05 (± 0,1) мм и многооборотные (МИГ) с диапазоном показаний до 1 (2) мм (*рис. 6.2, а, б*).

Измерительные головки с зубчатым механизмом. Единственным представителем таких головок является индикатор часового типа, применяемый в сочетании с устройствами для измерения диаметра отверстий, глубины или толщины, либо самостоятельно вместе со стойкой или штативом. Индикатор часового типа относится к многооборотным головкам, поскольку при перемещении измерительного наконечника головки большая стрелка прибора совершает несколько полных оборотов. Для отсчета целых оборотов в индикаторе предусмотрена дополнительная маленькая стрелка со шкалой. Цена деления у всех индикаторов часового типа составляет 0,01 мм, диапазон показаний – 2, 5, 10

или 25 мм. Основным достоинством индикаторов является удобство применения, надежность работы и быстрота измерения.

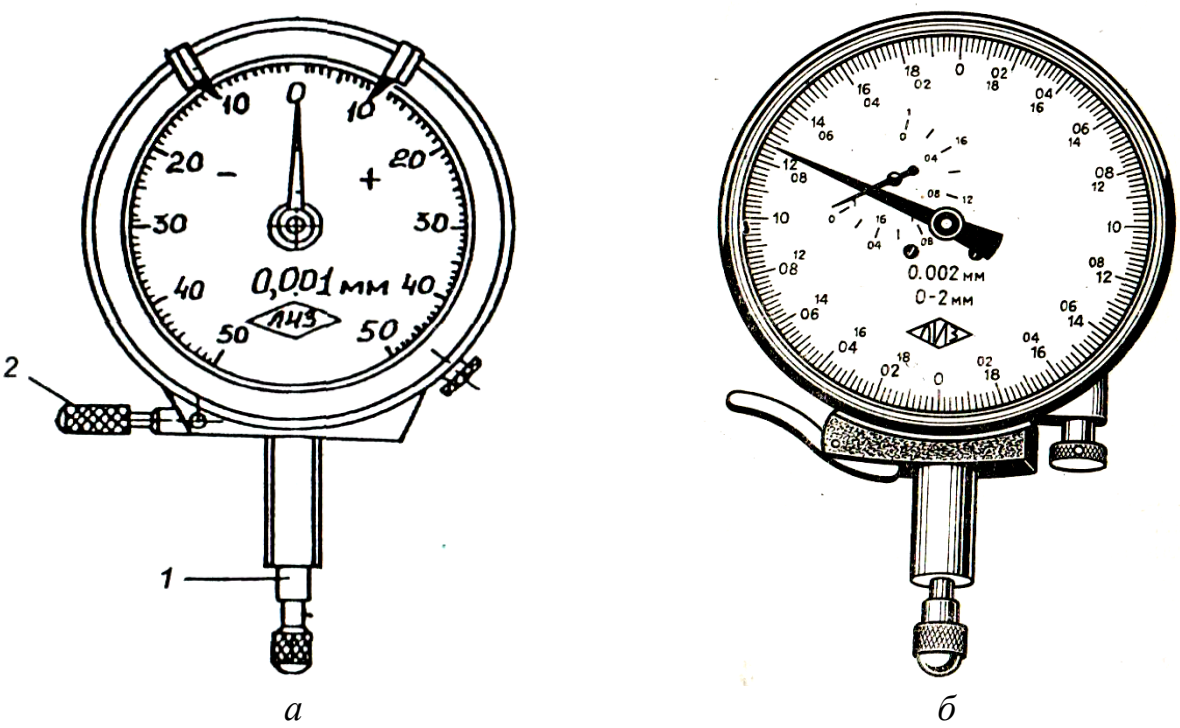


Рис. 6.2. Рычажно-зубчатые измерительные головки:
а – однооборотная ИГ; *б* – многооборотная МИГ

Все измерительные головки изготавливают в одном корпусе, имеющем обычно специальную наружную цилиндрическую поверхность для установки головки в стойку или штатив. Диаметр этой поверхности 8 или 28 мм.

Для выполнения практической части работы рассмотрим устройство индикатора часового типа (*рис. 6.3*). Индикатор состоит из цилиндрического корпуса, в который входит измерительный стержень *1* с нарезанной на его поверхности зубчатой рейкой *3* (*рис. 6.3, б*). Линейное перемещение измерительного стержня через зубья рейки передаются на зубчатые колеса *2, 4, 7, 8* и преобразуются во вращательное движение большой стрелки 5, насаженной на одной оси с зубчатым колесом (трибкой) *8*. Передаточное отношение зубчатых колес выбрано таким, что при перемещении измерительного стержня на 1 мм стрелка совершает один полный оборот. Круговая шкала индикатора имеет 100 делений, поэтому цена одного деления прибора составляет 0,01 мм.

На оси колеса *7* сидит маленькая стрелка *11* индикатора, которая по шкале отсчитывает целые миллиметры (обороты). Пружинный волосок *6* обеспечивает работу передачи на одной стороне профиля зуба, что устраняет мертвый ход. Измерительное усилие (800 . . . 2000 Н) создается пружиной *9*.

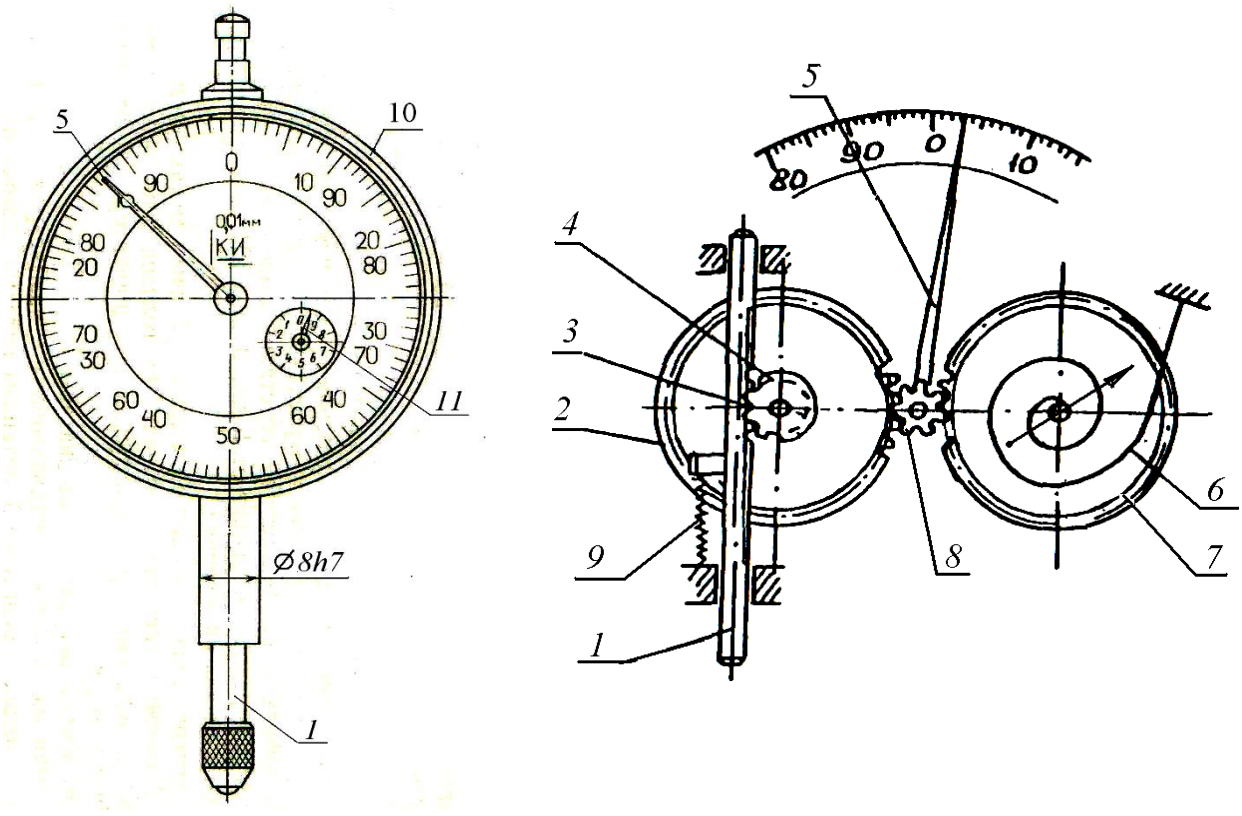


Рис. 6.3. Индикатор часового типа (*а*) и его схема (*б*):
1– измерительный стержень; *2, 4, 7, 8* — зубчатые колеса; *3* – зубчатая рейка; *5* – большая стрелка; *6* – спиральная пружина; *7* – малая стрелка; *10* – ободок

В соответствии с [5] индикаторы выпускают двух типов: ИЧ (часового типа) и ИТ (торцовые). Индикаторы типа ИЧ изготавливают с перемещением измерительного стержня параллельно шкале. Они имеют пределы измерения 0–2, 0–5, 0–10, 0–50 мм. Торцовые индикаторы типа ИТ имеют перемещение измерительного стержня перпендикулярно шкале, их пределы измерения 0–2 мм.

6.2. Практическая работа: контроль формы и расположения поверхностей индикаторами

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

➢ изучить устройство индикатора часового типа, индикаторного нутромера, прибора для измерения радиального и торцового биения, получить навыки работы с ними;

➢ ознакомиться с абсолютным и относительным методами измерения индикаторами, освоить методику настройки индикаторов на ноль;

➢ проконтролировать соответствие размеров шейки d_3, отверстия D и величины торцового и радиального биения требованиям чертежа.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- комплект индикаторного инструмента: индикаторы ИЧ со штативами, индикаторные нутромеры НИ, биениемер ПБМ-200;
- контролируемые детали, их чертежи;
- стандарты – ГОСТ 25347–2015.

6.2.1. Измерение индикатором наружных размеров

1. Изучить теоретическую часть работы (темы 1, 2, 6, п.1).

2. Получить индивидуальное задание: детали с чертежами, средства измерений, ГОСТ 25347–2015.

3. Изучить техническую характеристику применяемых средств измерений и записать их в таблицу отчета (*приложение Б.3*).

4. Перед началом измерений проверить исправность измерительных инструментов.

5. Набрать блок концевых мер по номинальному размеру контролируемой детали и установить его на основание (столик) штатива (*рис. 6.4*).

6. Закрепить индикатор в штативе на необходимой высоте так, чтобы измерительный наконечник прибора соприкасался с поверхностью блока с «натягом» в один-два оборота большой стрелки. Такой «натяг» дается для того, чтобы в процессе измерений индикатор мог показывать не только положительные, но и отрицательные отклонения от начального положения. Затем следует повернуть рукой ободок индикатора вместе со шкалой так, чтобы большая стрелка установилась против нулевого деления. При этом следует заметить положение малой стрелки.

7. Приподняв измерительный наконечник, снять блок концевых мер и установить под наконечник деталь.

8. Опустить наконечник и произвести три измерения диаметра Ø d_3 детали в поперечных сечениях 1–1, 2–2, и 3–3 и в двух взаимно перпендикулярных направлениях I–I и II–II (*рис. 6.5*). *Всего 6 измерений.*

Для получения достоверных показаний по большой шкале индикатора следует, слегка прижимая деталь, прокатывать её по столику под измерительным наконечником и, внимательно наблюдая перемещение стрелки, произвести отсчет показаний в тот момент, когда под наконечником находится наибольший диаметр детали. При этом следует определить знак отклонения «+» или «-». Если стрелка при наибольшем показании не дойдет до нуля, показания индикатора следует записать со знаком «-», при переходе за нуль – со знаком «+».

По малой шкале индикатора также можно установить знак отклонений и определить большие отклонения размера от номинала, превышающие один полный оборот большой стрелки.

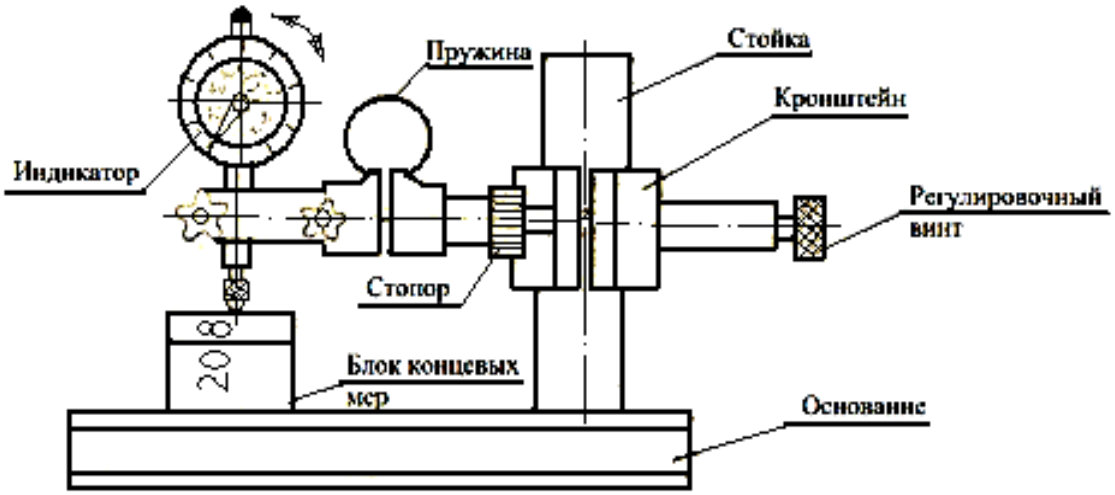


Рис. 6.4. Схема настройки индикатора по блоку концевых мер длины

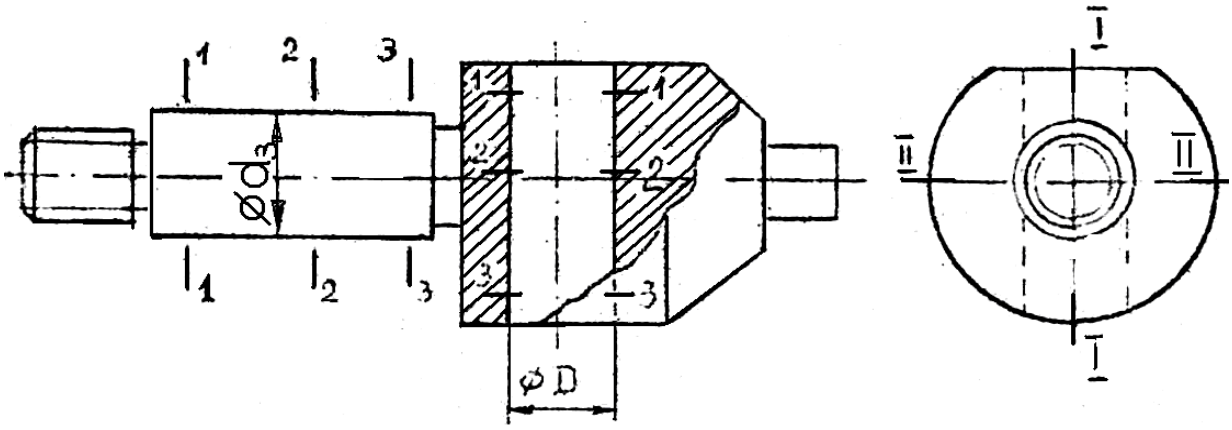


Рис. 6.5. Схема измерения детали по наружному d_3 и внутреннему D диаметрам

9. Полученные показания занести в таблицу отчета.

10. Определить действительные размеры d_3 детали в сечениях и записать их в таблицу отчета. При использовании относительного метода измерений действительный размер равен сумме размера установочного блока B и отклонений по индикатору Δ с учетом его знака, т. е. $d_3 = B +/- \Delta$.

Примечание. При измерениях абсолютным методом действительный размер определится лишь по показаниям индикатора.

11. По найденным действительным размерам детали определить величину ее отклонений от правильной формы: овальность, седлообразность, бочкообразность, конусность. Результаты также занести в соответствующую таблицу отчета.

12. Проверить соответствие размеров детали требованиям чертежа, сравнив действительные размеры с предельными, и сделать заключение о годности детали.

6.2.2. Измерения индикатором внутренних размеров

Принцип устройства нутромера НИ. Для измерения отверстий и других внутренних размеров применяют индикаторные и шариковые нутромеры (*рис. 6.6*). Устройство нутромера следующее: индикатор *4* устанавливается в трубчатый корпус *11* прибора и зажимается фиксатором *10*. В измерительной головке нутромера имеется два стержня *1* и *2*. Первый (сменная вставка) в процессе измерения неподвижен, а второй перемещается и через угловой рычаг *3* и шток *5* передает движение на отсчетное устройство *4*.

В индикаторном нутромере имеется центрирующий мостик, состоящий из планки 6 со скругленными углами *7*, который при измерении отверстия под действием пружин 8 центрирует нутромер по наибольшему диаметру.

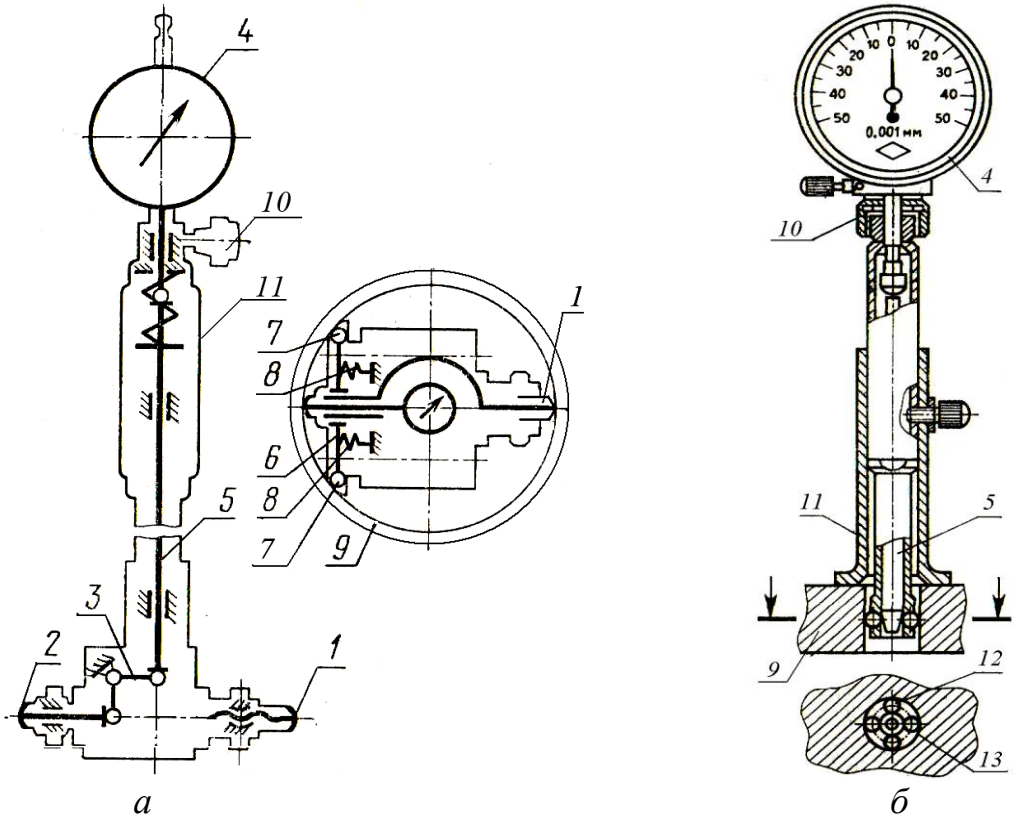


Рис. 6.6. Устройство индикаторного (*а*) и шарикового (*б*) нутромеров: *1* – измерительный стержень; *2* – сменный стержень; *3* – угловой рычаг; *4* – индикатор; *5* – шток; *6* – планка; *7* – скругления; *8* – пружина; *9* – измеряемое отверстие; *10* – фиксатор; *11* – корпус; *12* – центрирующие шарики; *13* – измерительные шарики

Индикаторные нутромеры выпускаются промышленностью с пределами измерений: 6–10, 10–18, 18–35, 35–50, … , 700–1000 мм при глубине измерения до 500 мм.

Последовательность выполнения работы

1. В отверстие верхней части корпуса вставить индикатор и опускать до тех пор, пока его большая стрелка не сделает 1–2 оборота. Закрепить индикатор в этом положении фиксатором *10* (*рис. 6.6, а*).

2. Подобрав сменную измерительную вставку *1* в соответствии с измеряемым размером, ввинтить ее в корпус *11*.

3. Установить прибор на нуль. Для этого следует:

а) набрать блок из концевых мер, размер которых равен номинальному диаметру контролируемого отверстия;

б) к составленному блоку притереть боковички *1* и *2* (*рис. 6.7*) и вместе с ними блок зажать в державке *3* винтом *5*, предварительно затянув винт *4*;

в) аккуратно отжимая центрирующий мостик, ввести измерительную головку нутромера в пространство между боковичками;

г) небольшим покачиванием нутромера определить крайнее положение большой стрелки индикатора (при вращении ее по часовой стрелке), которое соответствует наименьшему расстоянию между боковичками. К этому положению стрелки поворотом шкалы индикатора подвести ее нулевое деление;

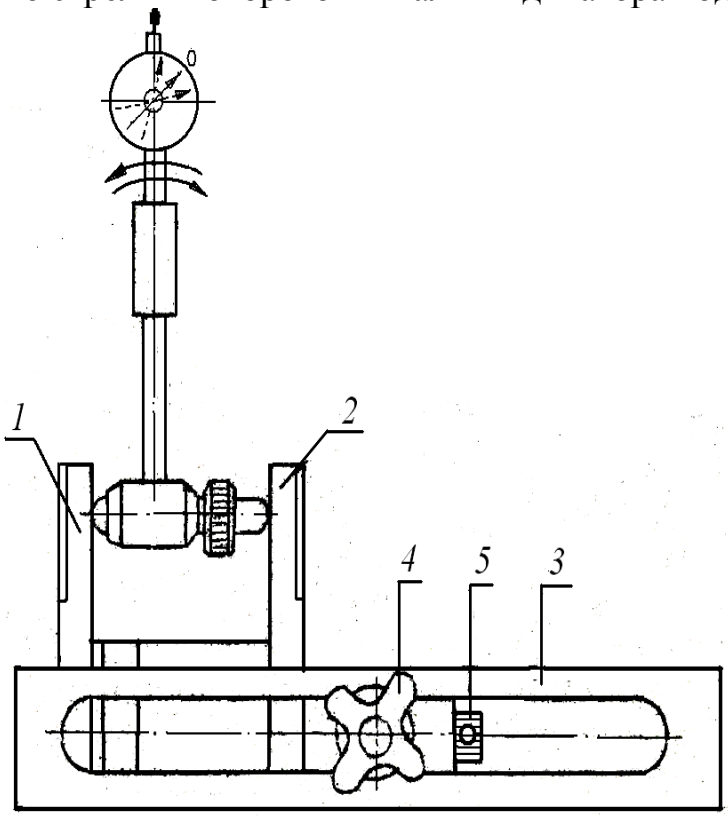


Рис. 6.7. Установка индикаторного нутромера на ноль

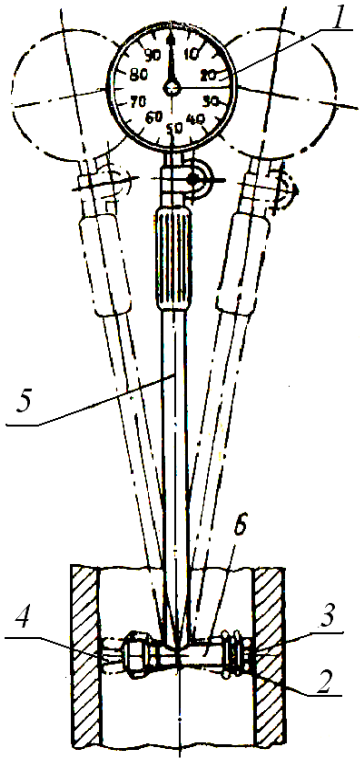


Рис. 6.8. Измерение отверстия

д) повторным покачиванием прибора проверить правильность установки на ноль; в случае необходимости ввести коррективы в настройку. Затем осторожно вывести головку из пространства между боковичками.

4. Отжимая центрирующий мостик *4* (*рис. 6.8*), осторожно ввести нутромер в отверстие и произвести измерение в трех сечениях 1–1, 2–2, 3–3 (*рис. 6.5*), перпендикулярных оси. Причем в каждом сечении измерения следует проводить в 2 взаимно перпендикулярных направлениях I–I и II–II.

5. Записать в таблицу отчета показания индикатора и вычислить действительные размеры детали. Действительный размер *D* равен сумме размера блока концевых мер *B* и показаний прибора Δ с учетом знака, т. е. $D = B +/- \Delta$. Действительные размеры также записать в таблицу.

6. По действительным размерам отверстия определить величину отклонений от правильной геометрической формы: овальность, конусообразность, бочкообразность, седлообразность. Результаты расчетов занести в таблицу отчета.

7. Проверить соответствие размеров отверстия требованиям чертежа, сравнив действительные размеры с предельными, и сделать заключение о годности отверстия.

6.2.3. Контроль индикатором радиального и торцового биения

Для измерения биения применяют специальные приборы – биениемеры типа ПБ: ПБИ-200, ПБИ-500 и т. п., которые отличаются друг от друга межцентровым расстоянием и высотой центров над направляющими.

Настройку прибора и контроль биения выполняют следующим образом:

1. Деталь *1* установить в центрах *2* прибора ПБИ (*рис. 6.9*). Центры *2* укреплены в стойках *3*, которые могут перемещаться по направляющим станины *4* приборов и закрепляться в требуемом положении стопорными винтами *5*. Правая стойка имеет неподвижный центр, а центр левой стойки для установки детали может перемещаться при помощи рычага *6*.

2. Установить и закрепить индикатор *7* в державке стойки *8*. Эта стойка может перемещаться по направляющим станины и стопориться в требуемом месте винтом *9*.

3. Отстопорив винт *10*, опустить кронштейн *11* с индикатором до соприкосновением с измеряемой поверхностью примерно на пересечении оси наконечника с осью детали. Сделать в этом положении предварительный натяг в 1–2 мм и закрепить кронштейн винтом *10*.

4. Установить индикатор на ноль и произвести измерения радиального биения указанной на чертеже поверхности, медленно вращая деталь. При этом следует заметить наибольшее и наименьшее отклонения стрелки по шкале и записать их разницу в таблицу отчета.

5. Аналогично произвести настройку прибора, определить и записать величину торцового биения в соответствии с указаниями на чертеже.

6. Сравнивая полученные результаты измерения с допустимым биением по чертежу, сделать в отчете заключение о годности детали по величине биения.

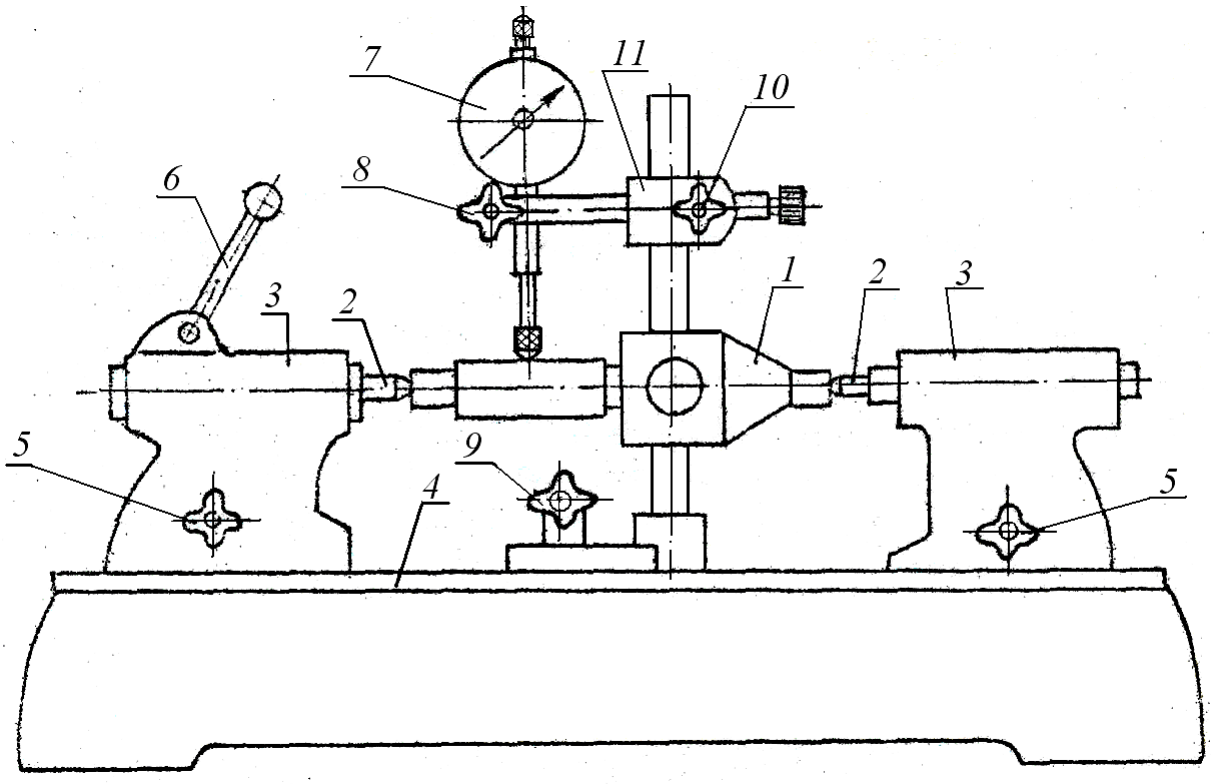


Рис. 6.9. Биениемер ПБИ-200

Контрольные вопросы

1. Перечислите разновидности измерительных головок. Каковы их отличия по конструкции и принципу действия?

2. Каковы разновидности пружинных измерительных головок?

3. В чем состоит отличие рычажно-зубчатого индикатора от рычажно-зубчатых измерительных головок?

4. Поясните принцип действия индикатора часового типа.

5. В чем разница абсолютного и относительного методов измерения?

6. Как настроить измерительную головку на относительный метод измерения?

7. Какие приборы применяют для измерения внутреннего диаметра отверстии? Каков принцип их работы?

8. Какова последовательность настройки индикаторного размера на измеряемый размер?

9. Как произвести измерения радиального и торцового биения?

10. Какие приборы применяются для контроля радиального и торцового биения? Назовите их метрологические характеристики.

7. ПРЕДЕЛЬНЫЕ КАЛИБРЫ

7.1. Назначение и конструкция предельных калибров

В условиях крупносерийного и массового производства для контроля точности изготовления наружных и внутренних поверхностей цилиндрических деталей, ширины пазов и выступов широко используют *калибры*.

Калибры являются средствами альтернативной проверки годности параметров изделия, когда не ставится задача определения действительного значения проверяемого параметра, а лишь устанавливается факт соответствия этого параметра нормативным значениям и каждую проверенную единицу продукции относят к категории годных или дефектных (негодных).

Калибры представляют собой предельные меры для контроля соответствия действительных размеров наружных или внутренних элементов деталей предельно допустимым значениям без измерения их действительной величины.

При конструировании калибров используется принцип подобия Тейлора, в соответствии с которым форма рабочей части калибра является прототипом сопрягаемой поверхности контролируемой детали. Поэтому калибры для определения годности отверстий изготавливают главным образом в виде пробки (части вала), а для контроля валов – в виде скобы или кольца.

В машиностроении широко применяют калибры – пробки и скобы для контроля гладких цилиндрических соединений, конусов, элементов резьбы, шпоночных и шлицевых соединений, для контроля геометрических элементов пазов и выступов и др. (см. с. 8).

По назначению предельные калибры разделяют на рабочие, приемные и контрольные.

Рабочие калибры предназначены для контроля деталей в процессе их изготовления. Этими калибрами пользуются рабочие и контролеры ОТК завода-изготовителя, причем контролеры применяют частично изношенные проходные калибры и новые непроходные калибры. Ранее в отечественной практике рабочие предельные калибры имели клеймо Р-ПР (рабочие проходные) и Р-НЕ (рабочие непроходные). В настоящее время в соответствии со стандартами ISO рабочие калибры обозначаются ПР и НЕ.

Приемные калибры (П-ПР и П-НЕ) допускаются к применению только в обоснованных случаях по требованию заказчика продукции. Стандарт [16] на гладкие предельные калибры не предусматривает приемные калибры, а рекомендует пользоваться рабочими, частично изношенными калибрами.

Контрольные калибры предназначены для контроля или регулировки размеров рабочих калибров-скоб в процессе их изготовления и использования. Стандартом предусмотрены три вида контрольных калибров: *для рабочей скобы ПР* – контркалибр К-ПР и контркалибр износа К-И; *для рабочей скобы НЕ* – контркалибр К-НЕ. Контркалибры не предусмотрены для калибров-пробок.

Нерегулируемые калибры часто применяют вследствие дешевизны и большей точности. Стандарт [15] устанавливает 12 видов нерегулируемых калибров, а также правила их применения для контроля цилиндрических отверстий и валов.

По конструкции различают калибры цельные и составные, жесткие и регулируемые. По технологии изготовления калибры могут быть литыми или штампованными, материалом может служить инструментальная сталь У8А, УЮА, У12А, твердый сплав марок ВК6, ВК8. Твердость рабочих поверхностей калибров должна быть обеспечена в пределах HRC 59...65.

7.1.1. Калибры для контроля цилиндрических отверстий

Конструкция калибров-пробок зависит от величины контролируемого размера. В большинстве случаев калибры-пробки состоят из стержня (ручки) с двумя цилиндрическими головками – проходной и непроходной стороны (*рис. 7.1*). Деталь считается годной, если *проходная сторона* ПР входит в отверстие под собственным весом калибра, а *непроходная сторона* НЕ не входит в отверстие.

Для повышения износостойкости и улучшения центрирования пробки в отверстия проходную сторону калибра-пробки делают длиннее непроходной, это позволяет также различать их визуально. Непроходная сторона обычно короткая, так как она не должна входить в отверстие при контроле.

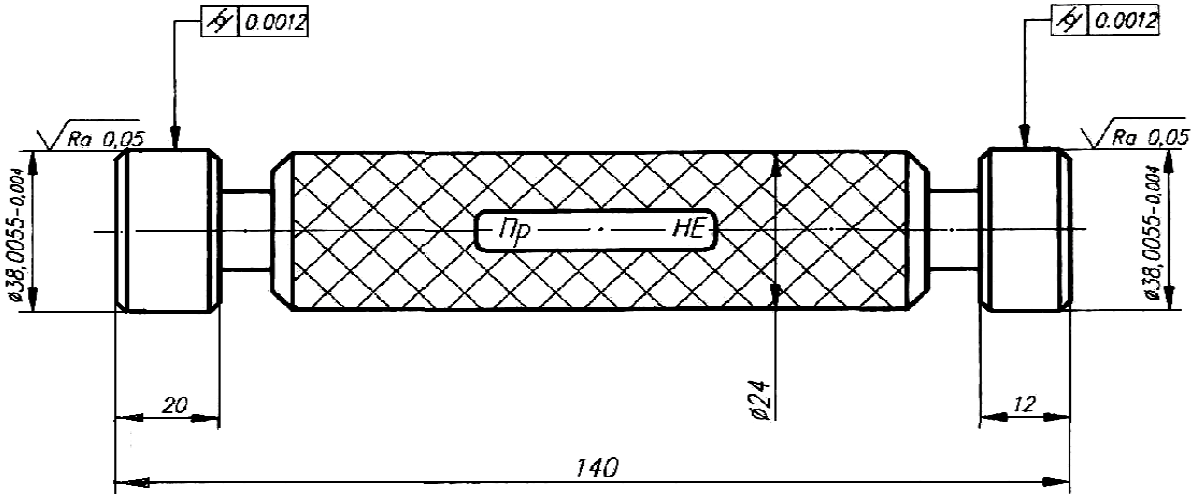


Рис. 7.1. Калибр-пробка

По конструктивному устройству гладкие предельные калибры для контроля отверстий разделяют на цельные и составные, однопредельные и двухпредельные, односторонние и двухсторонние (*рис. 7.2*).

Однопредельные пробки или скобы применяют при контроле деталей относительно больших размеров. *Двухсторонние двухпредельные калибры* несколько ускоряют контроль, однако предусмотрены лишь для размеров до 50 мм. *Односторонние двухпредельные калибры* вдвое ускоряют контроль, дешевле, потому рекомендуются к применению.

Для размеров от 1 до 6 мм изготавливают *предельные двухсторонние пробки* (*рис. 7.2, а*). Они состоят из круглой насеченной рукоятки, в которой установлены проходная и непроходная цилиндрические вставки, закрепляемые карбинольным клеем или канифолью.

Для размеров от 3 до 50 мм применяют *предельные двухсторонние пробки (рис. 7.2, б) со вставками*, которые имеют конические хвостовики с конусностью 1:50. В средней части ручки имеется поперечное отверстие, предназначенное для удаления одной из вставок.

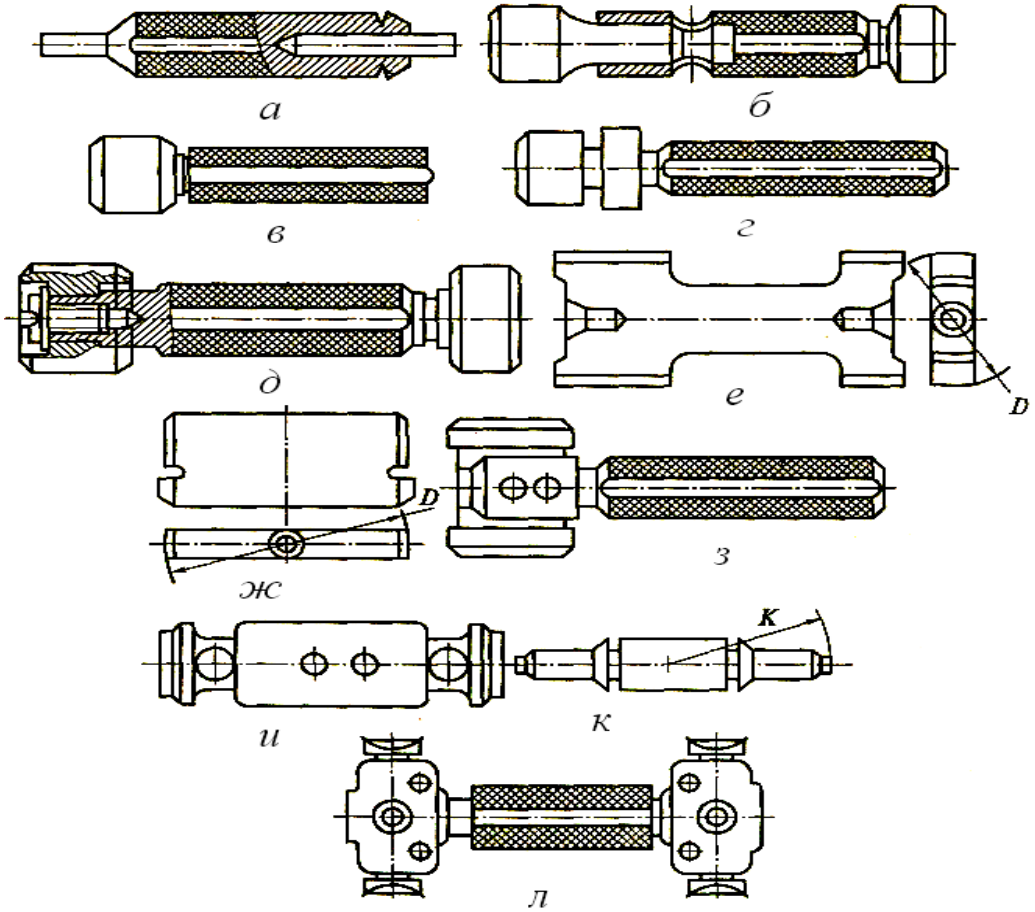


Рис. 7.2. Конструкции калибров-пробок для контроля отверстий [1], [15]:
а – двухсторонние двухпредельные с вставками; *б* – двухсторонние двухпредельные с вставками; *в* – односторонние однопредельные с вставкой; *г* – односторонние двухпредельные; *д* – двухсторонние двухпредельные с насадками; *е* – листовые двухсторонние двухпредельные; *ж* – листовые односторонние двухпредельные; *з* – односторонние однопредельные неполные с ручкой; *и* – двухсторонние двухпредельные неполные с накладкой; *к* – штихмасы-нутрометры; *л* – двухсторонние двухпредельные неполные регулируемые

Пробки *односторонние однопредельные с насадками* (*рис. 7.2, в*) применяют для размеров от 50 до 75 мм. Рукоятка у этих пробок имеет с двух сторон цапфы (посадочные шейки), на которые надеваются насадки ПР и НЕ. Крепятся они винтом с увеличенной головкой. Преимуществом насадок по сравнению со вставками является то, что при износе заходной части их можно переворачивать и ставить другой стороной, что позволяет увеличить срок службы калибра.

Помимо предельных двухсторонних пробок иногда изготавливают *односторонние пробки*, у которых проходная и непроходная части расположены с одной стороны рукоятки и разделены узкой проточкой (*рис. 7.2, г*).

Двухсторонние двухпредельные калибры с насадками (*рис.7.2, д*) применяют для контроля отверстий диаметром от 30 до 100 мм.

Для проверки больших отверстий применяют *листовые двусторонние пробки* размером от 18 до 100 мм (*рис. 7.2, е*), а также *односторонние двухпредельные пробки* для диаметров от 50 до 300 мм (*рис. 7.2, ж*). Изготавливают их из листового металла толщиной от 6 до 12 мм. Рабочие поверхности выполняют по дуге окружности. Между проходной и непроходной сторонами однопредельная листовой пробки выполнена проточка. На практике эти пробки применяют редко вследствие отсутствия рукоятки.

Для контроля больших отверстий (50–150 мм) применяют также *неполные однопредельные пробки* (*рис. 7.2, з*), изготовляемые отдельно для размеров ПР и НЕ. Пробки неполные, однопредельные и двухпредельные с накладками из дерева или пластмассы (*рис. 7.2, и*) применяются для проверки отверстий диаметром от 150 до 300 мм. Накладки предохраняют калибр от нагревания руками.

Отверстия больших диаметров (250–1000 мм) контролируют при помощи *предельных штихмасов* – стержней с доведенными сферическими измерительными поверхностями (*рис. 7.2, к*). Их рукоятки выполняют из теплоизоляционного материала. Непроходной штихмас имеет на стержне отличительную цилиндрическую проточку.

Для контроля ширины пазов и канавок также применяют *листовые калибры*, аналогичные листовым пробкам (*рис. 7.2, ж, з*), но с плоскими контрольными поверхностями.

7.1.2. Калибры для контроля валов

Для определения годности диаметров валов применяют калибры-скобы и кольца. При контроле размера посадочной поверхности вала кольцами принцип подобия соблюдается в наибольшей степени, однако применение их ограничено тем, что при контроле валов кольцами ПР и НЕ потребуется неоднократное снятие детали, закрепленной в центрах станка. Поэтому в машиностроении вместо колец применяют преимущественно калибры-скобы ПР и НЕ с широкими измерительными поверхностями. При этом необходимо учитывать, что контроль калибрами-скобами следует проводить *в нескольких местах* по длине и не

менее чем в двух взаимно-перпендикулярных направлениях каждого сечения вала.

Калибры-скобы изготавливаются различных конструкций. Наибольшее применение нашли *односторонние двухпредельные скобы* (*рис. 7.3*). При контроле годности размера вала калибром-скобой деталь считается годной, если сторона ПР надевается на вал и проходит его под весом скобы, а сторона НЕ не проходит через контролируемую поверхность.

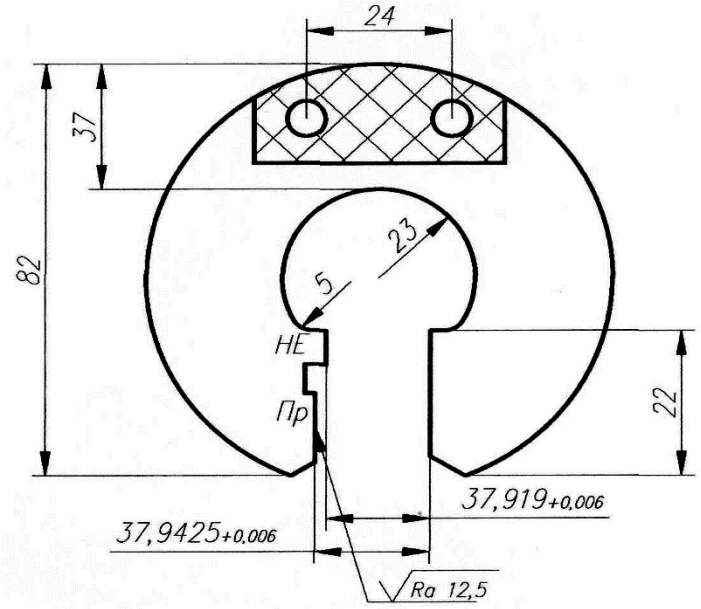


Рис. 7.3. Односторонний двухпредельный калибр-скоба

Скобы листовые двухсторонние предельные (рис. 7.4, а) изготавливаются из листового металла толщиной 4–8 мм для размеров от 1 до 50 мм. У этих скоб проходная и непроходная стороны разделены. Непроходная сторона НЕ отличается от проходной ПР наличием фасок на сопряжениях передней и боковых поверхностей.

Скобы двухпредельные односторонние для контроля размеров от 1 до 70 мм *(рис. 7.4, б*) и *скобы круглые* для размеров от 1 до 180 мм *(рис. 7.4, в)* выполняют также из листового материала. У них проходной и непроходной размеры расположены по одну сторону. Проходная часть отделяется от непроходной проточкой, при этом длина проходной части принимается больше, чем непроходной. Односторонние калибры-скобы имеют большое распространение, поскольку контроль ими занимает меньше времени.

Листовые скобы (односторонние и двусторонние) применяют также для проверки длины деталей.

При изготовлении скоб в больших количествах применяются также *штампованные конструкции скоб*: *односторонние двухпредельные* для размеров от 3 до 50 мм *(рис. 7.4, г*); *односторонние двухпредельные с ручками* из теплоизоляционного материала для размеров от 50 до 170 мм *(рис. 7.4, д*); *двухсторонние двухпредельные* с размерами от 30 до 100 мм *(рис. 7.4, е)*. Штампованные

скобы имеют более жесткую конструкцию и более широкие измерительные губки, что повышает их долговечность.

Для размеров от 100 до 325 мм изготавливают *предельные односторонние литые скобы со вставными губками (рис. 7.4, ж*), для уменьшения веса они выполняются с отверстиями.

Регулируемые скобы (*рис. 7.4, з*) состоят из литого жесткого корпуса, к которому с одной стороны винтами привернута неподвижная губка. Регулируемые вставки с противоположной стороны скобы дают возможность восстановления рабочих размеров по мере износа вставок, что позволяет существенно повысить долговечность калибра. Также их можно переналаживать на другой размер по размерам ПР и НЕ в пределах от 3 до 8 мм при помощи специальных винтов. Установка регулируемых скоб на рабочий размер производится по блоку концевых мер.

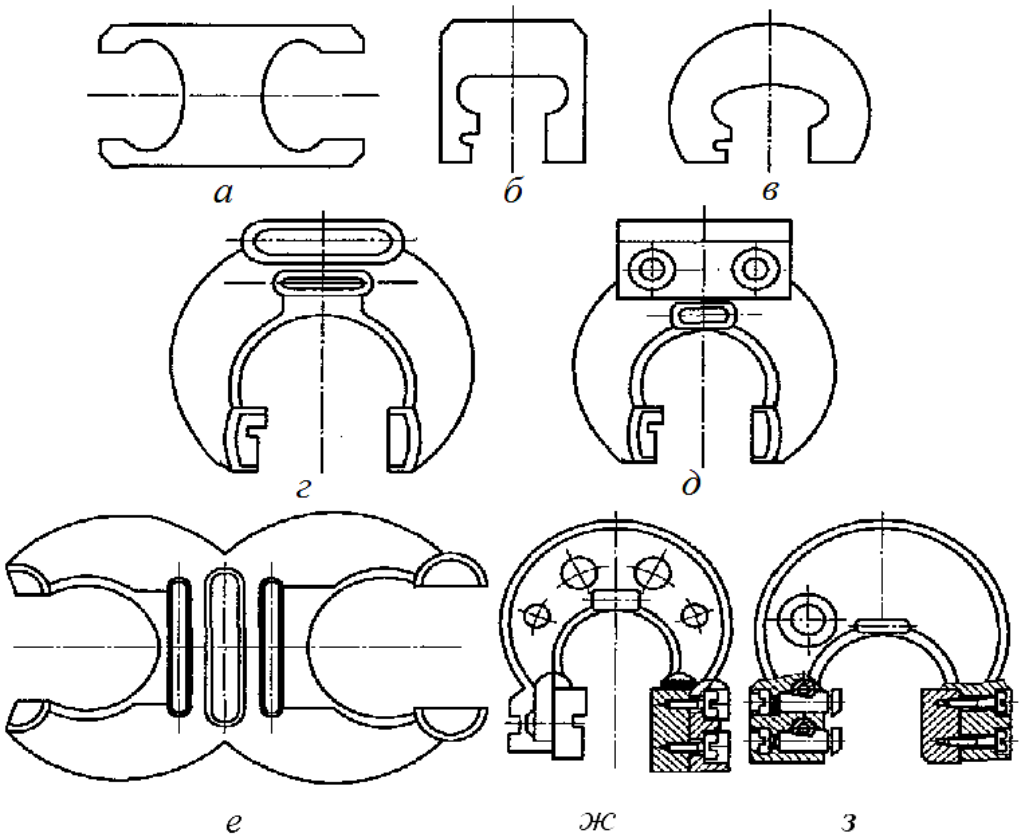


Рис. 7.4. Конструкция калибров-скоб для контроля валов [1], [15]:
а – листовые двухсторонние двухпредельные; *б* – листовые прямоугольные односторонние двухпредельные; *в* – листовые круглые односторонние двухпредельные; *г* – штампованные односторонние двухпредельные; *д* – штампованные односторонние двухпредельные с ручками; *е* – штампованные двухсторонние двухпредельные; *ж* – регулируемые односторонние двухпредельные; *з* – регулируемые скобы

7.1.3. Калибры предельные для контроля глубин и высот уступов

В условиях серийного производства контроль глубин и высот уступов целесообразно осуществлять не универсальными средствами измерений, а двухпредельными калибрами (шаблонами). Они представляют собой ступенчатые пластины различной формы, их предельные стороны обозначают буквами Б (бóльшая – для контроля наибольшего предельного размера) и М (меньшая – для наименьшего предельного размера). Конструкции и основные схемы измерения таких калибров представлены на *рис.7.5, 7.6* и *7.7.*

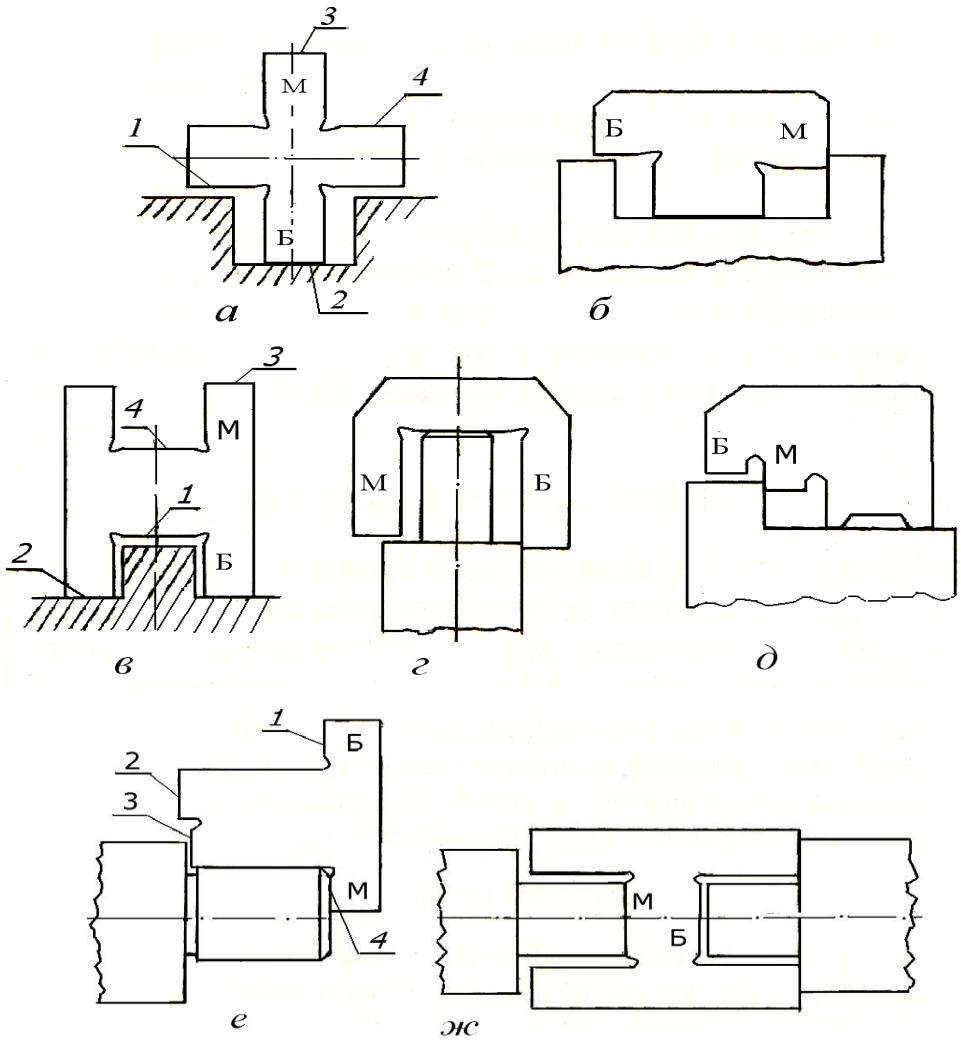


Рис. 7.5. Схемы предельных калибров (шаблонов) для ступенчатых размеров:
а, б – глубиномеры; *в–г* – высотомеры; *е– ж* – уступомеры

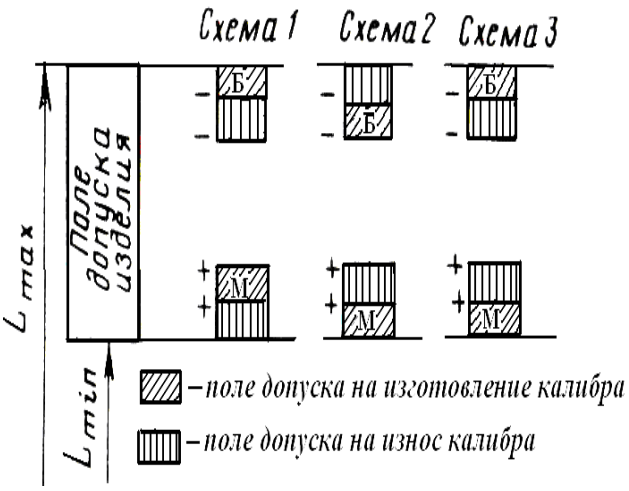


Рис. 7.6. Схема расположения полей допусков калибров для контроля глубин и высот уступов (до 180 мм)

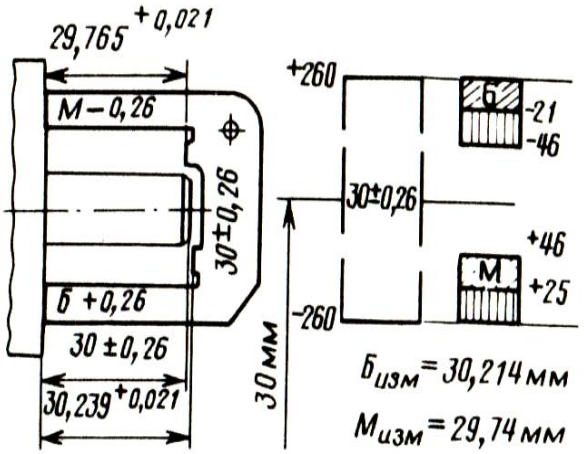


Рис. 7.7 . Калибр для контроля высоты уступа 30 ±0,26 мм и схема расчета размеров сторон Б и М

Контроль при помощи предельных листовых калибров для глубин и высот уступов производится по различным методам, в том числе по световой щели (на просвет – *рис. 7.5, а, в, ж*), надвиганием (*рис. 7.5, б, г, д, е*) по двойным рискам и др. Так, при контроле большей стороной калибров просвет должен быть в плоскости *1* (*рис. 7.5, а, в, е)*, а плоскость *2* должна прилегать к базовой поверхности проверяемой детали. В случае проверки малой стороной калибра просвет должен быть у плоскости *3*, а прилегание – по плоскости *4*. Когда указанное условие выполняется, деталь считается годной.

Нерабочие поверхности стороны *Б* калибра имеют фаски для отличия ее от стороны *М*. Измерительные стороны *Б* и *М* калибров имеют лезвиеподобную грань в целях уменьшения погрешностей контроля.

Стандарт [7] предусматривает применение калибров-шаблонов для контроля размеров в диапазоне от 1 до 500 мм с допусками по IT11–IT17. На обе стороны калибра назначают допуски на изготовление и износ. Предусмотрено три схемы расположения полей допусков калибров в зависимости от направления износа сторон *Б* и *М* (*рис. 7.6*). Схема 1 соответствует случаю, когда при износе калибра размеры сторон *Б* и *М* уменьшаются (*рис. 7.5, б, д);* схема 2 – когда увеличиваются (*рис. 7.5, г*); схема *3* – когда размер стороны *Б* уменьшается, а размер стороны *М* увеличивается (*рис. 7.5, а, в*).

Размеры, допуски и примеры расчета калибров приведены в стандарте [7]. Предельные отклонения для сторон *Б* и *М* отсчитывают соответственно от наибольшего и наименьшего предельных размеров изделия.

В качестве примера на *рис. 7.7* приведен эскиз калибра для контроля высоты уступа 30 ± 0,26 и схема расчета размеров его сторон *Б и М.*

Контроль рабочих размеров сторон *Б* и *М* калибров при изготовлении или в ходе эксплуатации проводится универсальными средствами измерения.

7.2. Методы и средства контроля калибров

Контроль предельных калибров-пробок в заводских лабораториях осуществляется чаще всего относительным методом на пружинных или пружинно-оптических измерительных головках – микрокаторах, оптикаторах или оптиметрах (вертикальных и горизонтальных).

Контроль размеров калибров-скоб при их изготовлении осуществляется при помощи специальных шаблонов-колец (проходного и непроходного), блоков плоскопараллельных концевых мер или же на горизонтальном оптиметре относительным методом. Рассмотрим устройство перечисленных выше приборов.

Пружинная измерительная головка *микрокатор* ИГП (*рис. 7.8*) имеет цену деления от 0,1 до 10 мкм. Пределы измерения по шкале микрокатора ±20, ±30 или ±40 делений.

В основу передаточного механизма микрокатора положена скрученная бронзовая пружинная лента *3* (*рис. 7.8, а*). Одна ее половина завита вправо, другая влево. Лента *3* правым концом прикреплена к пружинному угольнику *6*, а левым – к плоской пружине *2*. Измерительный стержень подвешен на плоской пружинной мембране *9* и пружинном угольнике *6*. Пружина *7* создает измерительное усилие с возможностью его регулировки устройствами *10* и *11*. При измерении стержень *8*, перемещаясь вверх, вызывает поворот угольника *6*, что приводит к растяжению ленты *3* и повороту прикрепленной к ней в середине стрелки *4* относительно шкалы *5*. Стрелка представляет собой тонкую стеклянную коническую трубочку диаметром 50–80 мкм, сбалансированную при помощи противовеса *1*.

Для работы микрокатор 7 (*рис. 7.8, б*) устанавливается в вертикальной стойке, состоящей из основания *13*, колонки *12*, кронштейна *9* и предметного стола *3*. После установки в стойке микрокатор закрепляется в кронштейне *9* винтом *6*.

При настройке прибора кронштейн перемещается по колонке вращением опорного кольца *11* и закрепляется на необходимой высоте винтом *10*. Столик *3* перемещается вверх-вниз с микрометрической подачей вращением гайки *1* и закрепляется в конечном положении винтом *2*. *П*ри установке и снятии изделия или для проверки постоянства показаний прибора применяется арретир *5*, нажимая на который приподнимают измерительный стержень с наконечником *4*.

Перед измерениями прибор следует настроить на нулевое деление шкалы по блоку концевых мер, размер которого подбирают по номинальному размеру контролируемого изделия [31].

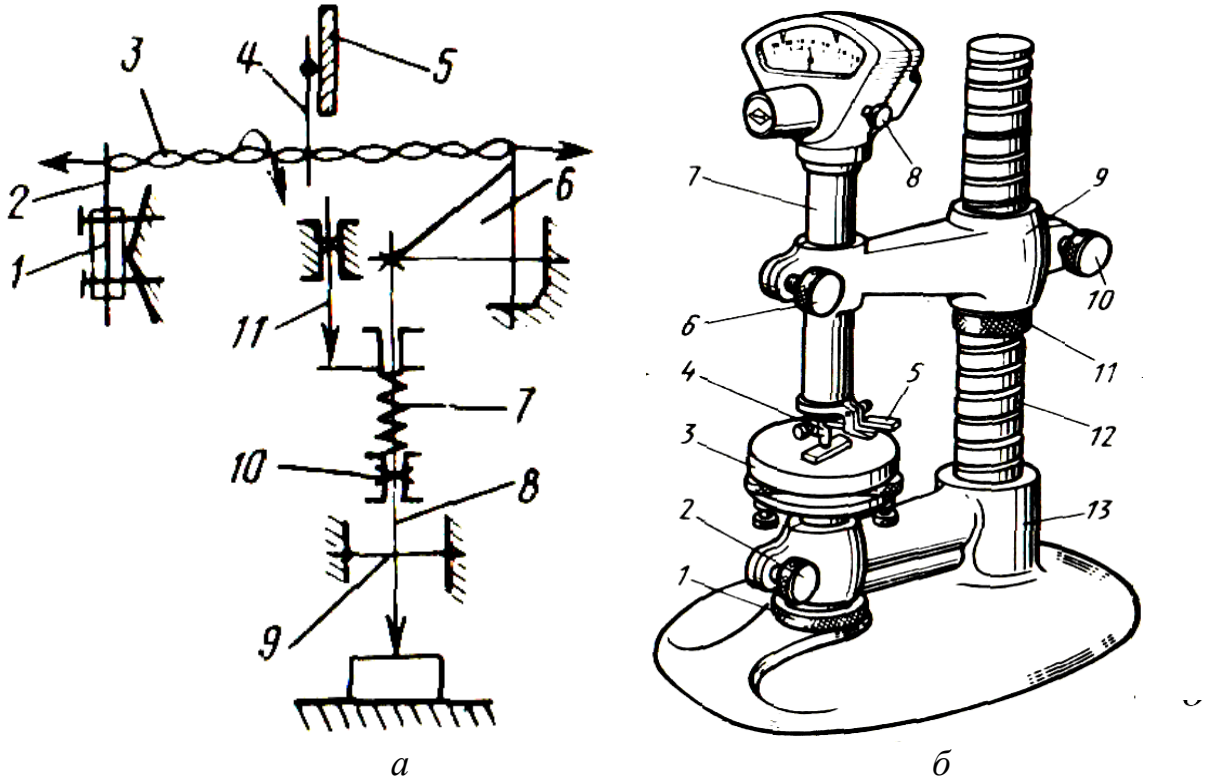


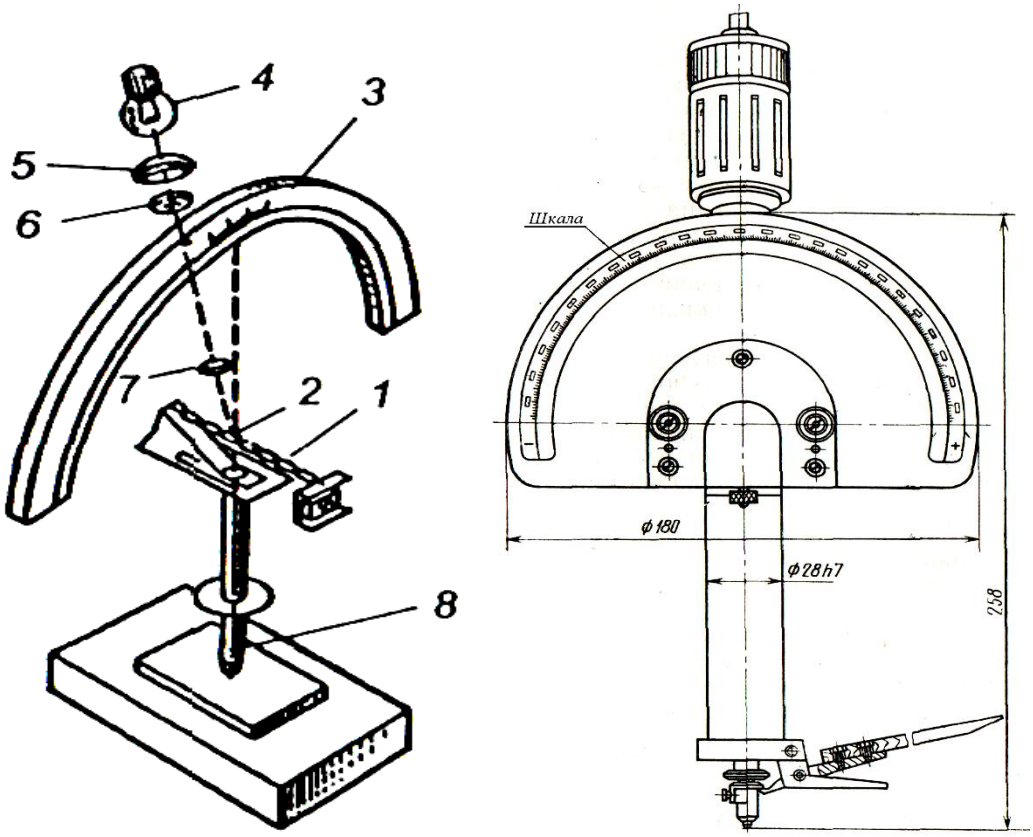
Рис. 7.8. Устройство микрокатора: *а* – схема; *б* – микрокатор на стойке

Набранный блок устанавливают на столике *3* прибора (*рис. 7.8, б*).

Вращением кольца *11* при открепленном винте *10* перемещают кронштейн *9* с измерительной головкой *7* до появления небольшого просвета между наконечником и блоком концевых мер. Затем производится точная установка на нуль вращением гайки *1* при открепленном винте *2*. Окончательная установка при закрепленных винтах *10* и *2* производится винтом *8*. Нулевую установку шкалы прибора проверяют арретиром 5, несколько раз поднимая и опуская измерительный наконечник *4*. При несовпадении показаний прибора установку на нуль повторяют. При измерении точная установка прибора на нуль осуществляется поворотом шкалы в пределах ±5 делений с помощью винта *8*.

Нажимая на арретир *5*, снимают блок мер и устанавливают измеряемую деталь под измерительный наконечник. После отпускания выполняют измерение, наблюдая шкалу прибора и считывая показания по его шкале. Действительный размер детали определяют сложением показания прибора (с учетом знака) с размером установочной меры.

Основными недостатками микрокаторов являются неудобство отсчета по слишком тонкой стрелке, вибрация стрелки, прилипание ее к шкале вследствие статического электричества. Этих недостатков лишен оптикатор, созданный на базе микрокатора.



а *б*

Рис. 7.9. Пружинно-оптическая измерительная головка (оптикатор): *а* – схема; *б* – общий вид оптикатора

В *оптикаторе* пружинный передаточный механизм совмещен с увеличивающей оптической передачей (*рис. 7.9*). На скрученной бронзовой ленте *1* вместо стрелки укреплено зеркальце *2*. Пучок лучей от источника света *4* падает на него, проходя через конденсор *5*, прямоугольную диафрагму *6* с натянутой внутри ее тонкой нитью (штриховая метка) и объектив *7*. Отразившись от зеркальца, лучи попадают на зеркальную шкалу *3*, на которой видно изображение штриховой метки в виде светлого прямоугольника с узким темным штрихом посередине. При перемещении измерительного стержня лента раскручивается, и световой зайчик с изображением штрихового указателя перемещается по шкале *1*, показывая изменение размера.

Оптикаторы выпускают четырех типов (01П, 02П, 05П, 1П) с ценой деления шкалы 0,1; 0,2; 0,5 и 1 мкм при диапазоне показаний соответственно 24; 50; 100 и 250 мкм [20], [24]. Чувствительность оптикатора в два раза выше чувствительности микрокатора.

Вертикальный оптиметр ИКВ предназначен для измерения наружных размеров. Цена деления прибора 0,001 мм, пределы измерения по шкале составляют ± 0,1 мм, наибольший размер контролируемой детали – 180 мм.

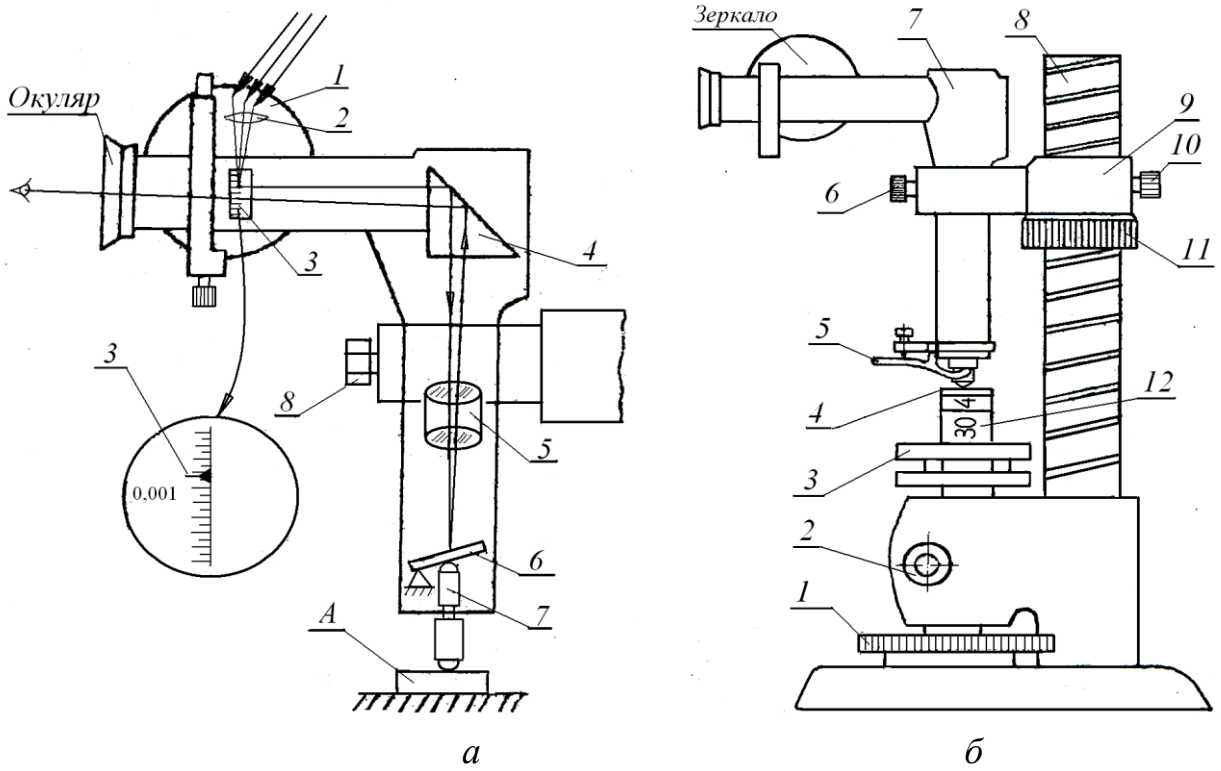


Рис. 7.10. Оптиметр вертикальный ИКВ: *а* – схема; *б* – общий вид

Основной частью оптиметра является трубка, в которой размещена оптико-механическая часть прибора (*рис. 7.10, а*). Пучок света направляется зеркалом *1* через призму *2* и освещает матовую шкалу *3*, на которой нанесено 200 делений. Пучок лучей с изображением шкалы, пройдя через призму *4*, фокусируется объективом *5* на качающееся зеркало *6*. Отразившись от зеркала по некоторым углом, изображение проходит в обратном направлении и рассматривается в окуляре наблюдателем. Зеркало *6* опирается на два шарика и измерительный штифт *7* и может отклоняться на некоторый угол при осевом перемещении штифта, т. е. при измерении размера детали. Вследствие этого шкала в поле зрения окуляра также будет перемещаться относительно неподвижного указателя, помещенного в окуляре. По этому указателю и производят отсчет делений шкалы при измерении и настройке прибора.

7.3. Практическая работа: контроль размеров гладких калибров; настройка размеров регулируемых скоб

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

➢ ознакомиться с конструкцией и назначением гладких предельных калибров – пробок и скоб;

➢ ознакомиться с методами контроля предельных калибров-пробок на горизонтальном оптиметре, оптикаторе и микрокаторе; получить навыки работы на этих приборах;

➢ изучить порядок настройки регулируемых скоб на заданный размер.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

➢ гладкие предельные скобы и пробки;

➢ приборы для измерения калибров-пробок: оптиметр вертикальный, оптикатор, микрокатор;

➢ скобы регулируемые для настройки на измеряемый размер;

➢ отвертки для регулировки скоб;

➢ наборы плоскопараллельных концевых мер;

➢ стандарты – ГОСТ 25346–2013, ГОСТ 25347–2013, ГОСТ 21401–75.

7.3.1. Контроль размеров калибров-пробок

Порядок выполнения работы следующий:

1. Изучить конструкции калибров-пробок (п. 7.1.1).

2. Изучить устройство и принцип действия приборов: оптиметра, оптикатора и микрокатора (п. 7.2).

3. Получить индивидуальное задание: калибр-пробку.

4. Подготовить бланк отчета по работе (*приложение Б.4*) и занести в него метрологические характеристики применяемого прибора.

5. По маркировке калибра определить размер, допуск и предельные отклонения детали, контролируемой калибром.

6. Пользуясь таблицами стандартов [16], [22], построить схему расположения полей допусков на проверяемую деталь и калибр-пробку с указанием всех предельных отклонений (см. пример на *рис. 7.11*).

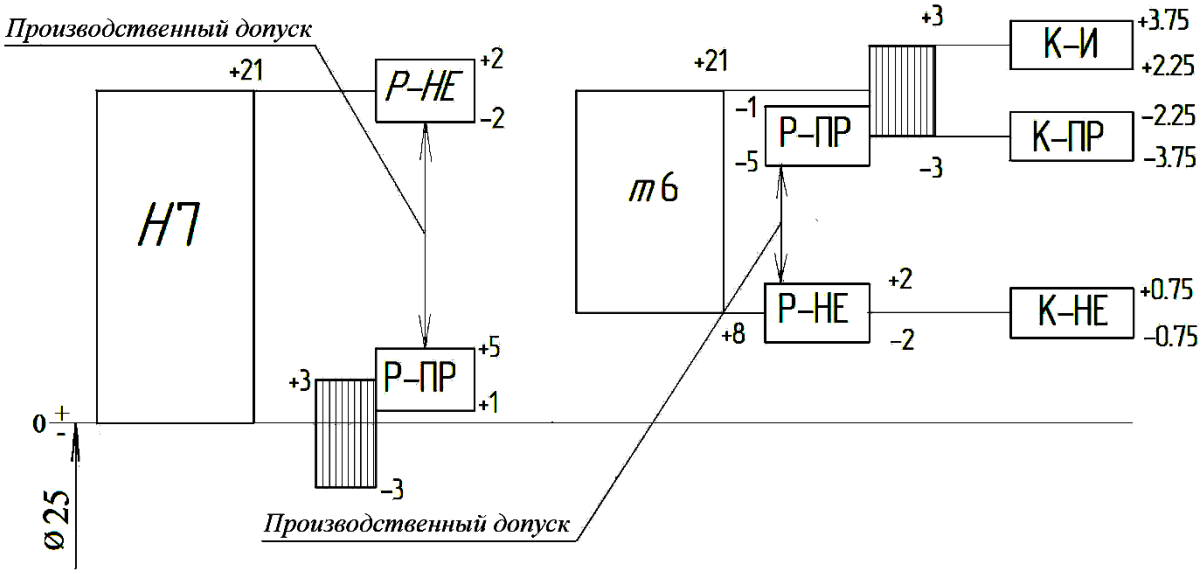


Рис. 7.11. Поля допусков калибров: *Н*7 – пробки; *m*6 – скобы

7. Рассчитать предельные размеры калибра ПР, НЕ, ПР-И (на износ).

8. Подсчитать размеры блоков для установки прибора на нуль при измерении проходной и непроходной стороны. Занести данные п. 5–8 в соответствующие таблицы отчета.

9. Проверить годность рабочего калибра-пробки при помощи одного из измерительных приборов в следующем порядке:

- установить прибор в отверстие кронштейна *9* и закрепить его винтом *6* (*рис. 7.10, б*); проверить действие прибора при помощи арретира *5*;
- набрать блок концевых мер для контроля *проходной стороны калибра* и установить его на столике *3* прибора (*рис. 7.10, б*);
- отстопорить винт *10* и вращением гайки *11* опустить кронштейн *9* с измерительным прибором *7* к поверхности блока, оставив расстояние между измерительными наконечником *4* и блоком *12* не более 1 мм. Закрепить винт *10*;
- отстопорить винт *2* и вращением микровинта *1* произвести микроподачу стола *3* до до соприкосновения измерительного наконечника с блоком. Момент их касания будет заметен по движению стрелки (микрокатор), светового указателя (оптикатор) или шкалы в окуляре оптиметра. Установить стрелку, световой луч или шкалу против нулевого положения;
- проверить нулевую установку прибора, приподнимая и опуская 2–3 раза наконечник арретиром *5*. Если после арретирования нулевая установка собьется, следует повторить настройку;
- слегка нажав арретир *5*, приподнять наконечник *4* и, удалив со столика блок концевых мер, заменить его объектом измерения – калибром;
- опустить наконечник и произвести измерения проходной стороны калибра-пробки в соответствии со схемой на *рис. 7.12*. Каждая сторона должна быть измерена в поперечном сечении (1–1 и 2–2) в двух взаимно перпендикулярных направлениях I–I и II–II (всего 4 измерения). При измерении калибр следует прокатывать под наконечником, плотно прижимая к столику. Измерение в каждом сечении должно производиться 3–4 раза во избежание ошибки;
- отсчет показаний проводить по смещению стрелки, светового указателя или шкалы прибора относительно нулевого положения. При этом показания прибора могут быть положительными или отрицательными и определяются по знакам (+) и (-) , имеющимся на шкале прибора. Наибольшее показание соответствует наибольшему диаметру контролируемого калибра;
- определить действительный размер проходной стороны пробки. Он равен сумме размера B блока и показаний Δ прибора с учетом знака отклонения: $d_{пр} = B \pm \Delta$;
- аналогичным образом произвести измерения непроходной стороны пробки $d_{не}$;
- после окончания измерений проверить нулевую установку прибора по блоку. Ошибка в нулевой настройке не должна превышать половины деления шкалы прибора;

▪ сравнивая полученные при измерении действительные размеры Р-ПР и Р-НЕ с допустимыми их значениями по [13] или [22], сделать заключение о годности калибра по каждой стороне;

▪ полученные результаты оформить в виде отчета.

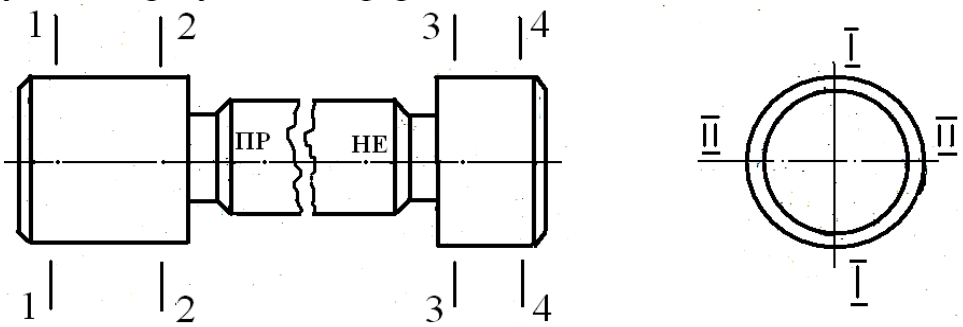


Рис.7.12. Схема измерения калибра-пробки

7.3.2. Настройка регулируемого калибра-скобы на размер

Регулируемые калибры-скобы настраиваются и регулируются при помощи блоков концевых мер. Порядок выполнения практической части работы для установки регулируемых скоб на размер следующий:

1. Изучить конструкции калибров-скоб [29].

2. Получить индивидуальное задание: регулируемую скобу, партию контролируемых деталей, чертеж детали.

3. Подготовить бланк отчета по работе (*приложение Б.5*).

4. Пользуясь таблицами стандартных значений [16], [22], [30], построить схему расположения полей допусков на проверяемую деталь и калибр-скобу с указанием всех предельных отклонений (см. пример на *рис. 7.11*). Схему представить в отчете.

5. Подсчитать размеры контрольных калибров К-РП, К-НЕ и К-И, по которым будут устанавливаться или контролироваться размеры скобы. При подсчете следует брать среднее из верхнего и нижнего отклонений контрольных калибров. Например, для установки скобы на размер 25*m*6 (*рис. 7.13*) размеры контрольных калибров будут следующими:

К-РП = 25,018 мм; К-НЕ = 25,008 мм; К-И = 25,024 мм.

6. По подсчитанным размерам собрать блоки концевых мер К-РП и К-НЕ, округляя полученные значения до цифры 0 или 5 в третьем десятичном знаке. При составлении блока рекомендуется применять защитные меры (плитки).

7. По набранным блокам установить подвижные губки скобы. Для этого отверткой с одной стороны скобы ослабить крепление зажимных винтов *1* (*рис. 7.13*) и отвернуть установочные винты *2;* перемещая губки *А* и *Б*, установить между ними набранный блок. Затем при помощи установочных винтов *2* слегка поджать блок губками и снова закрепить губки винтами *1*.

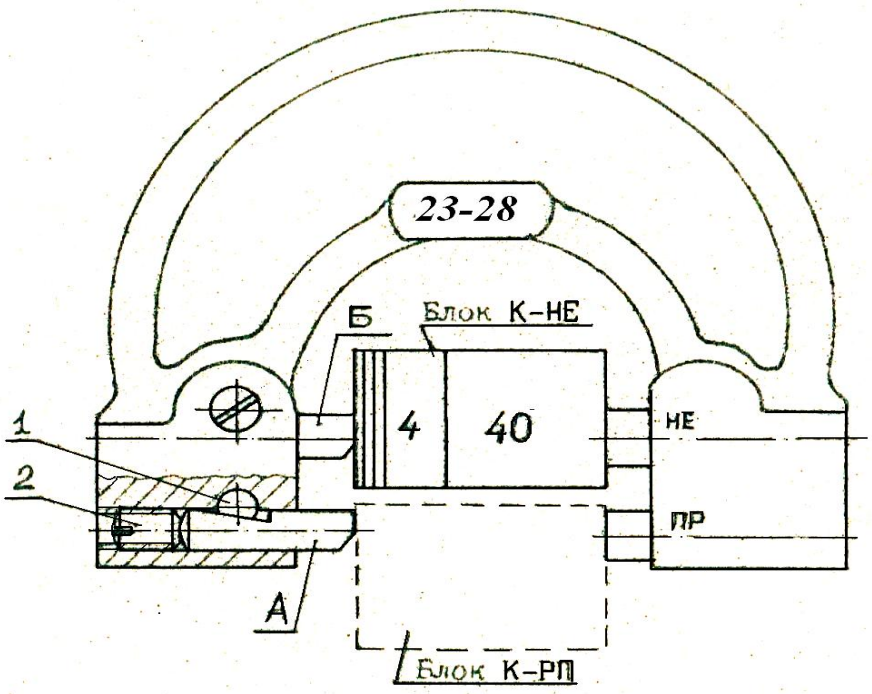


Рис.7.13. Схема установки регулируемого калибра-скобы на размер: блок К-НЕ = 25,002 мм; блок К-РП = 25,018 мм

8. По блоку К-РП устанавливают губки *А*, являющиеся при контроле детали проходной стороной скобы.

9. По блоку К-НЕ устанавливают губки *Б*, являющиеся при контроле детали непроходной стороной скобы.

10. Блок К-И лишь контролирует износ проходной скобы, поэтому для новой скобы он является непроходящим для губок *А*.

11. Выполнить контроль партии деталей настроенной скобой. Результаты контроля представить в отчете.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение предельных калибров?
2. Перечислите разновидности калибров для контроля отверстий и валов.
3. В чем заключается принцип Тейлора, применяемый при проектировании предельных калибров?
4. Назовите виды предельных калибров (шаблонов) для контроля глубин и высот уступов. Поясните принцип их работы.
5. Какова точность размеров элементов, контролируемых шаблонами?
6. Назовите условия годности деталей при контроле их калибрами.
7. Каково назначение рабочих и контрольных калибров?
8. Какими калибрами пользуются контролеры ОТК?
9. Как указывают на чертежах калибров их исполнительные размеры?
10. Какие измерительные приборы применяют для контроля размеров калибров при их изготовлении?

11. Поясните принцип действия микрокатора. Каковы его метрологические характеристики?

12. Поясните принцип действия оптикатора. Каковы его метрологические характеристики?

13. Поясните принцип действия вертикального оптиметра. Каковы его метрологические характеристики?

14. Какова последовательность настройки измерительного прибора для контроля размеров калибра?

15. Какова последовательность настройки регулируемой скобы на размер?

8. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

8.1. Нормируемые параметры шероховатости поверхности

Неровности на поверхности детали, образующиеся при её обработке на металлорежущем станке, представляют собой главным образом следы воздействия режущего инструмента на обрабатываемую поверхность. Направление этих следов определяется главным движением резания (формирует продольную шероховатость) и движением подачи (формирует поперечную шероховатость). Совокупность этих неровностей с относительно малыми шагами, рассматриваемых на определенной (базовой) длине, образует рельеф поверхности и называется **шероховатостью поверхности**.

Поперечная шероховатость обычно больше продольной, поэтому ограничиваются контролем только поперечной шероховатости.

Шероховатость поверхности изделий независимо от материала и способа изготовления можно оценивать количественно одним или несколькими параметрами [8]:

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, определяемое из измерения абсолютных значений отклонений у профиля поверхности от средней линии в пределах базовой длины l. Нормируется от 0,008 до 100 мкм;

R_z – средняя высота неровностей профиля по десяти точкам, соответствующим пяти минимумам и пяти максимумам в пределах базовой длины l. Нормируется от 0,025 до 1000 мкм;

$R_{\max}$ – наибольшая высота неровностей профиля в пределах базовой длины l. Нормируется от 0,025 до 1000 мкм;

S_m – средний шаг неровностей профиля, определяемый как среднее арифметическое значение шага неровностей в пределах базовой длины l. Нормируется от 0,002 до 12,5 мм;

S – средний шаг местных выступов профиля в пределах базовой длины. Нормируется от 0,002 до 12,5 мм;

t_p – относительная опорная длина профиля, определяемая отношением опорной длины профиля η_p к базовой длине l; она характеризует фактическую площадь контакта. Нормируется от 10 до 90 %.

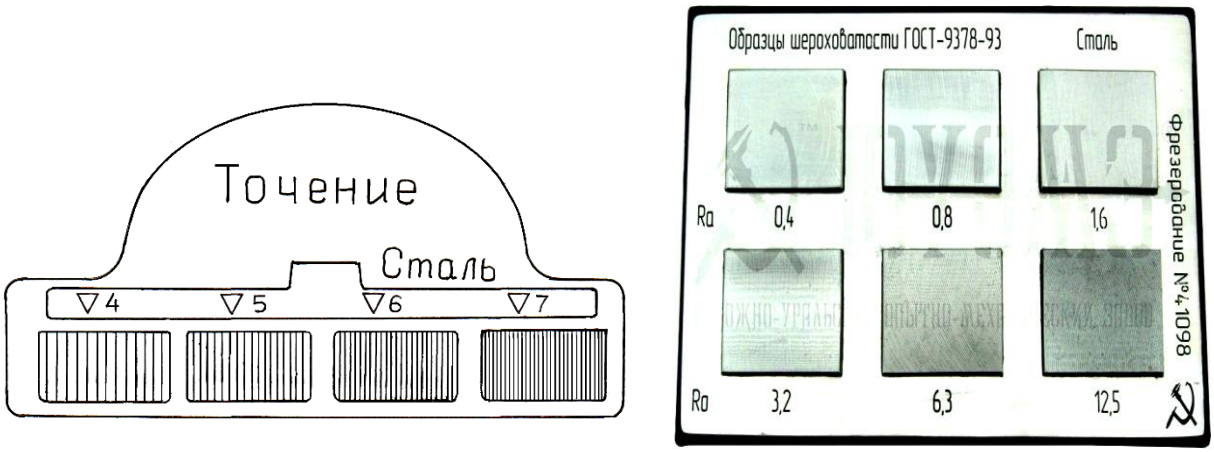
Требования стандарта [8] распространяются на все виды материалов, кроме материалов с ворсистой поверхностью (древесина, войлок, фетр и др.).

8.2. Методы контроля параметров шероховатости

При контроле шероховатости поверхности применяют *методы визуальной оценки*, *контактный* с использованием щуповых приборов (профилометров и профилографов) и *бесконтактный* на основе оптических приборов (микроинтерферометров, двойных микроскопов и др.). В тех случаях, когда непосредственное измерение шероховатости поверхности затруднительно (например, в глубоком отверстии), с поверхности снимают слепок и определяют параметры шероховатости по отпечатку на слепке.

Визуальный метод оценки шероховатости осуществляется путем сравнения поверхности детали с набором образцов (эталонов), обработанных с определенной шероховатостью. С помощью таких образцов удобно устанавливать годность деталей по шероховатости поверхности, в частности, для поверхностей, труднодоступных для измерений приборами, например, в проточках, пазах, на поверхностях коленчатых валов, в деталях сложной формы.

Образцы (эталоны) шероховатости (*рис. 8.1*) изготовляют в форме пластин с плоской, цилиндрической выпуклой или цилиндрической вогнутой поверхностью. Ширина образца должна быть не менее 20 мм и длина – от 20 до 50 мм [12]. Расположение неровностей на поверхности образцов может быть прямолинейное, дугообразное, перекрещивающееся и др. На каждом эталоне наносят номинальное значение параметра R_a в микрометрах, а по требованию заказчика поверхность образца может дополнительно оцениваться параметрами шероховатости *Rz, Rmax, Sm, S, tp*.



а *б*

Рис. 8.1. Эталонные наборы образцов шероховатости поверхности:
а – точение; *б* – фрезерование

Образцы шероховатости применяют отдельными образцами или в виде наборов, комплектуемых по виду обрабатываемого материала (сталь, чугун и др.) и для

различных методов обработки (точение, фрезерование, шлифование, полирование, электроэрозионная, пескоструйная или дробеструйная обработка и др.). Этот метод отличается простотой, доступностью, но дает достоверные результаты лишь для сравнительно грубо обработанных поверхностей ($R_a \geq 1{,}25$ мкм или $R_z \geq 5$ мкм). Точность визуальной оценки шероховатости может быть повышена при использовании лупы либо микроскопов сравнения (компараторов).

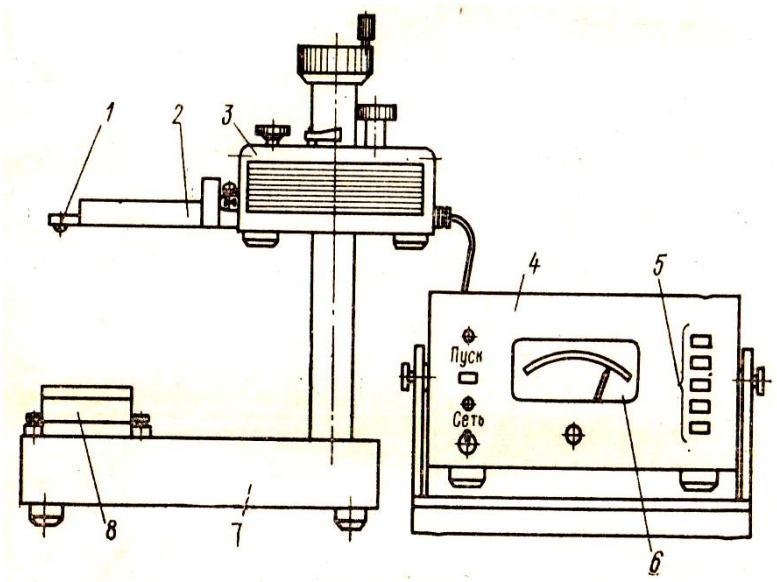
При визуальной оценке шероховатости поверхности материалы детали и образца (эталона) шероховатости должны быть идентичны. Обработка поверхности деталей и эталонов шероховатости должны быть выполнены одним и тем же методом.

Контактный метод реализуется с использованием профилометров и профилометров-профилографов [1], [20], [27], [31]. Приборы контактного действия предназначены в основном для определения шероховатости поверхностей изделий с прямолинейной траекторией измерения. Для измерения высоты неровности в этих приборах применяют щуповое устройство с алмазной иглой, которая имеет вертикальные колебания при перемещении ее по контролируемой поверхности. Алмазная игла имеет радиус 2 или 10 мкм, что позволяет ей проникать в весьма малые впадины неровностей. Колебания преобразуются в электрическое напряжение с помощью преобразователей различного типа. После ряда преобразований в электронной схеме прибора в профилометре (*рис. 8.2, а*) производится отсчет по шкале электроизмерительного прибора, градуированного в значениях параметра R_a.

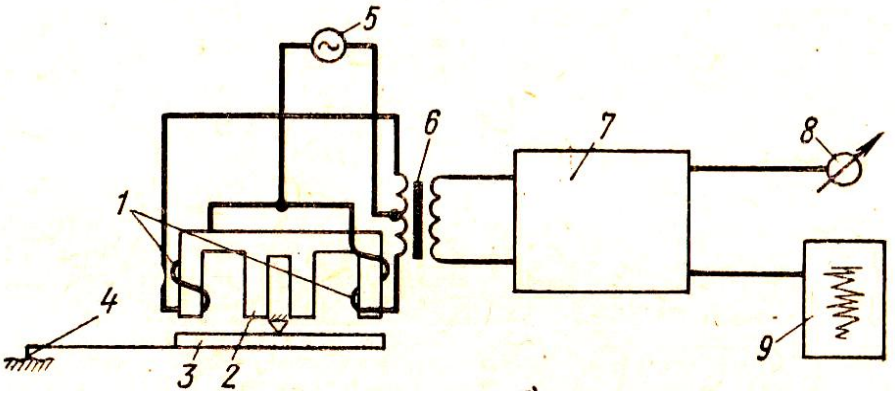
Профилометр-профилограф имеет на выходе не только шкалу, но и записывающее устройство (*рис. 8.2, б*). Так, например, профилометры мод. 253 и 283 позволяют определить по шкале прибора параметр R_a соответственно от 2,5 до 0,04 мкм или от 10 до 0,02 мкм. Профилографы-профилометры мод. 201 и 252 позволяют не только измерить параметр R_a от 8 до 0,02 мкм, но и оценить по диаграмме параметры R_z, $R_{\max}$, S_m, S и t_p.

Среди приборов контактного действия в настоящее время все шире используются профилометры-профилографы с цифровым отсчетом и цифропечатью, в том числе миниатюрные, переносные, цеховые приборы.

При бесконтактном (оптическом) методе *измерений* шероховатости поверхностей в основном используются два способа: а) использование отражательной способности обработанной поверхности (интерференционный метод), б) анализ увеличенного изображения шероховатой поверхности с помощью оптической системы (методы светового и теневого сечения).



а



б

Рис. 8.2. Контактный метод измерения шероховатости поверхности: *а* – общий вид профилометра: *1* – алмазная игла; *2* – измерительный преобразователь; *3* – привод; *4* – электронный блок; *5* – переключатели; *6* – показывающий прибор; *7* – основание; *8* – призма для детали; *б* – схема профилографа-профилометра: *1* – катушки; *2* – сердечник; *3* – коромысло; *4* – алмазная игла; *5* – генератор звуковой частоты; *6* – трансформатор; *7* – электронный блок; *8* – показывающий прибор; *9* – записывающий прибор

Общим свойством *приборов первого типа* является использование интерференции света, наблюдаемой при наложении двух когерентных пучков света от исследуемой и образцовой поверхностей. Форма образующихся интерференционных полос повторяет конфигурацию неровностей поверхности (*рис. 8.3*) и зависит от вида и высоты неровностей контролируемой поверхности. Измерение вели-

чины микронеровностей производится на основе измерения величины искривления интерференционной полосы *а* по отношению к ее ширине *в*. В эту группу приборов входят микроинтерферометры различных модификаций (МИИ-4, МИИ-10 и др.) и растровый микроскоп ОРИМ-1.

Интерференционные приборы предназначены для измерения параметров R_z (преимущественно), R_{max}, S небольших деталей плоской, цилиндрической и конической форм с параллельно расположенными неровностями. Приборы МИИ предназначены для измерения только малых значений шероховатости, поскольку на грубых поверхностях интерференцию получить невозможно. Диапазон значений R_z для разных типов МИИ – от 0,025 до 10 мкм, а для ОРИМ – до 40 мкм.

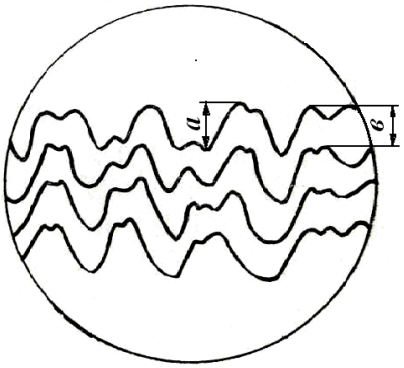


Рис. 8.3. Интерференционная картина шероховатой поверхности в окуляре микроскопа МИИ

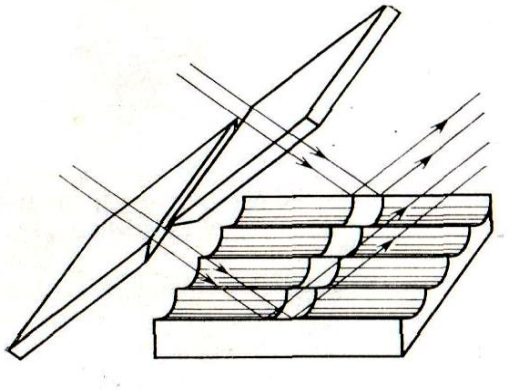


Рис. 8.4. Схема метода «светового сечения»

На бесконтактных приборах второго типа контроль шероховатости поверхности производится по методу «светового сечения», который заключается в следующем: пучок лучей направляется через узкую щель и объектив на контролируемую поверхность (*рис. 8.4*). Так как эта поверхность имеет следы обработки, то световая полоса будет искривляться в соответствии с неровностями самой поверхности. Отраженное изображение щели рассматривается в окуляр микроскопа.

Приборы светового сечения предназначены для измерения небольших по размеру деталей по параметрам шероховатости поверхности R_z *и* R_{max} в диапазоне 0,8–80 мкм. Приборы светового сечения МИС-11 (двойной микроскоп Линника) и ПСС-2 – лабораторные, настольные.

Оптическая схема микроскопа МИС-11 приведена на *рис. 8.5*. От источника света *1* через конденсор и щелевидную диафрагму *2* проходит пучок лучей под углом 45°, который собирается в фокальной плоскости объектива *3*. Изображение щели проектируется в *виде тонкой светлой полоски* на исследуемую поверхность детали *4, помещенной на предметном столике 5*. Отражаясь от

этой поверхности под углом 45° искривленное изображение щели через объектив *6* проектируется на сетку окуляр-микрометра *7* с винтовым отсчетным устройством (*рис. 8.6*).

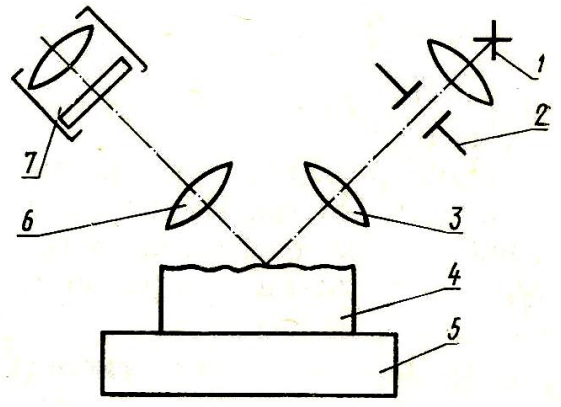


Рис. 8.5. Оптическая схема прибора МИС-11

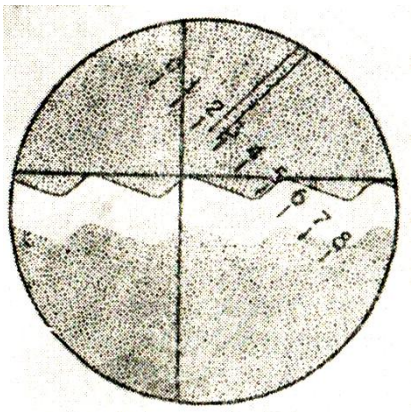


Рис. 8.6. Изображение поверхности детали в окуляре микроскопа МИС-11

Конструкция двойного микроскопа МИС-11. На массивном основании *1* (*рис. 8.7*) укреплена колонка *2*. Корпус *3* прибора вместе с кронштейном *4* может перемещаться вдоль колонки вращением гайки *5*. Кронштейн стопорится винтом *6*. Грубая настройка осуществляется вращением винта *7*, точная – вращением винта *8*. В корпусе *3* вмонтированы осветительный *9* и визуальный *10* тубусы микроскопов. Их объективы *11* одинаковы. Визуальный тубус снабжается окуляр-микрометром *12*. Освещение щели производится лампой напряжения 8 В, помещенной в патрон *16*. Прибор снабжен съемным столиком *17*, который может перемещаться в 2-х направлениях при помощи микрометрических винтов. Кроме того, столик может поворачиваться вокруг вертикальной оси.

На приборе ПСС-2 для отсчета показаний применен окулярный винтовой микрометр с внутренними шкалами. Такое устройство позволяет более точно, чем на приборе МИС-11, наводить линии перекрестия на точки световой полоски и более удобно для оператора, ведущего наблюдение в окуляр.

Прибор теневого сечения типа ПТС-1 позволяет измерять шероховатость плоских, цилиндрических и конических поверхностей как небольших, так и крупногабаритных деталей по параметрам R_z *и* R_{max} в диапазоне 40–320 мкм и параметра *S*. Его оптическая схема схожа со схемой приборов светового сечения, но на поверхность детали проектируется не световая полоска, а тень от находящегося на пути луча света ножа. Прибор может использоваться в лабораторных, цеховых и даже в полевых условиях.

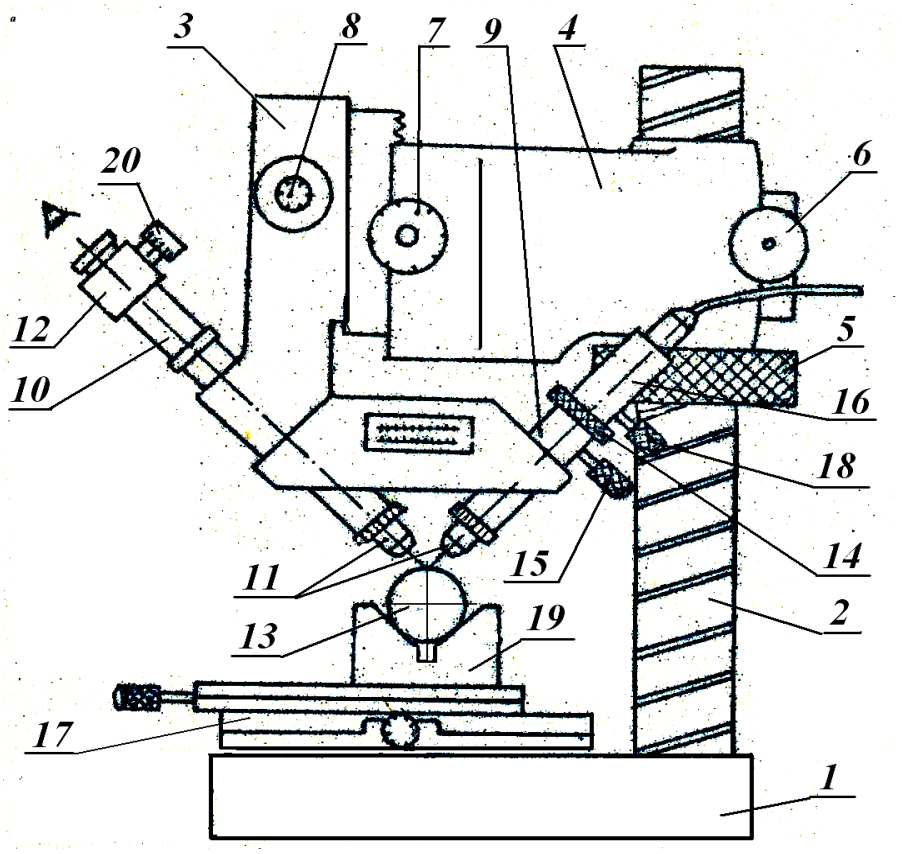


Рис. 8.7. Устройство двойного микроскопа МИС-11

8.3. Практическая работа: контроль шероховатости поверхности на двойном микроскопе МИС-11

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- изучить методы и средства контроля параметров шероховатости поверхности (п. 8.1 и 8.2);
- освоить методику измерения шероховатости на двойном микроскопе МИС-11; получить навыки работы на этом приборе;
- провести контроль шероховатости поверхности детали по эталонам шероховатости и на двойном микроскопе МИС- 11.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- контролируемые детали с чертежами;
- эталоны шероховатости и двойной микроскоп МИС-11;
- плакат «Параметры шероховатости поверхности»;
- стандарт – ГОСТ 2789–73.

8.3.1. Измерение шероховатости на двойном микроскопе МИС-11 при помощи окуляр-микрометра

А1. Подготовка и настройка микроскопа на измерение

1. Изучить устройство и принцип действия двойного микроскопа МИС-11 (п. 8.2 пособия).

2. Получить индивидуальное задание: контролируемую деталь с чертежом, набор эталонов шероховатости, ГОСТ 2789–73.

3. Подготовить бланк отчета по работе (*приложение Б.6*) и занести в него метрологические характеристики применяемого прибора.

4. Установить приблизительно класс шероховатости исследуемой поверхности методом ее визуального сравнения с эталонами шероховатости.

5. Выбрать объективы *11* по фокусному расстоянию в соответствии с предполагаемой шероховатостью поверхности, используя данные, приведенные в *табл. 8.1*. Установить объективы (или проверить правильность их установки) в микроскопе.

Таблица 8.1. **Выбор объективов микроскопа в зависимости от предполагаемой шероховатости поверхности**

Высота неровностей, R_z, мкм	Класс шероховатости поверхности	Фокусное расстояние объектива F, мм	E – величина, обратная увеличению объектива
От 40 до 80	3	25,0	0,085
От 20 до 40	4	25,0	0,085
От 10 до 20	5	13,89	0,048
От 6,3 до 10	6	13,89	0,048
От 3,2 до 6,3	7	8.16	0,027 5
От 1,6 до 3,2	8	8,16	0,027 5
От 0,8 до 1,6	9	4,25	0,014 5

6. Установить деталь *13* (*рис. 8.7*) на призму *19* столика *17* исследуемой поверхностью вверх. Включить освещение прибора.

7. Снять патрон *16* с лампочкой и осветить исследуемую поверхность слева. Вращением винтов грубой *7* и точной *8* настройки отфокусировать прибор так, чтобы в окуляр-микрометр была резко видна поверхность освещаемой детали.

8. Вставить патрон *16* в корпус и закрепить винтом *18*.

9. Поворачивая от руки столик, ориентировать измеряемое изделие таким образом, чтобы направление неровностей на поверхность было перпендикулярно изображению щели.

10. Покачиванием осветительного тубуса с помощью винта *15* добиться такого положения, чтобы на поверхность детали, видимой в окуляре, наложилось изображение щели.

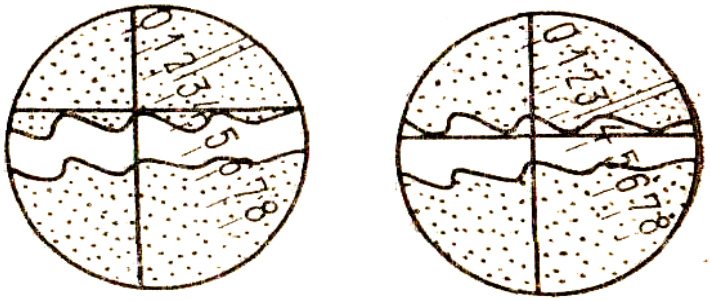
11. Вращением установочной гайки *14* осветительного тубуса добиться резкого изображения щели (*рис.8.6* и *8.8*).

12. Повернуть окуляр-микрометр *12* таким образом, чтобы горизонтальная линия перекрестия стала параллельна изображению щели (*рис. 8.8*).

А2. Измерения высоты неровностей и оформление результатов

13. Наблюдая изображение в окуляр-микрометре, установить наличие в поле зрения перекрестия в виде двух тонких линий. Совместить горизонтальную линию перекрестия с выступами верхней границы щели (*рис. 8.8, а*) вращением барабанчика *20* (*рис. 8.7*) окуляр-микрометра. Произвести первый отсчет (h_1) показаний по шкале барабанчика и записать его в соответствующую графу отчета. Затем совместить горизонтальную линию со впадинами верхней границы щели (*рис. 8.8, б*), снять второй отсчет (h_2) и определить разность *H* между этими двумя отсчетами. Записать полученные данные в таблицу отчета.

Примечание. Измерения высоты неровностей следует производить только по верхней или только по нижней границе щели. Расстояние между верхней и нижней границами щели (т. е. её толщина) не должно входить в расчет параметра *H*.



а *б*

Рис. 8.8. Схема измерения шероховатости при помощи окуляр-микрометра:
а – первый отсчет (показание по барабанчику окуляр-микрометра h_1);
б – второй отсчет (показание по барабанчику окуляр-микрометра h_2)

14. В соответствии с п. 13 выполнить измерения пяти характерных неровностей заданной поверхности с отсчетами $h_1, \ldots h_{10}$ и рассчитать среднюю высоту пяти неровностей $H_{ср}$.

Примечание. При выборе неровностей следует перемещать деталь в поле зрения окуляра при помощи продольного микровинта столика.

15. Определить высоту неровностей по формуле

$$R_z = H_{ср} \cdot E \quad \text{или} \quad R_z = \frac{(h_1 + h_3 + \ldots + h_9) - (h_2 + h_4 \ldots + h_{10})}{5} E,$$

где R_z – высота неровностей (находится как средняя высота пяти неровностей);

$h_1 + h_3 + \cdots$ – отсчеты для пяти выступов неровностей поверхности;

$h_2 + h_4 + \cdots$ – отсчеты для пяти соответствующих впадин;

$H_{ср}$ – средняя разность отсчетов по шкале барабанчика для пяти неровностей, одно деление барабанчика окуляр-микрометра равняется 0,01 мм;

E – величина, обратная увеличению объектива (выбирается по *табл. 8.1*).

16. Сравнить полученное расчетное значение шероховатости поверхности с требуемой величиной ее по чертежу и сделать заключение о годности поверхности детали по расчетной величине R_z.

17. Сделать заключение о годности детали, сравнивая визуально шероховатости с эталонами шероховатости.

18. Заполнить отчет по работе со всеми иллюстрациями и расчетными данными.

8.3.2. Измерение шероховатости поверхности с ТВ-камерой и компьютером

Б1. Установка детали и фиксация изображения.

1. Выполнить п. 1–5 и, по необходимости, п. 6–11 п. 8.3.1.

2. Включить питание 220 В на компьютере и блоке управления освещением рабочего поля микроскопа МИС-11, запустить компьютер.

3. На рабочем столе дисплея компьютера установить указатель «мыши» на метке программы визуализации изображения (*СамApp*) и двойным нажатием левой клавиши указателя «мыши» открыть панель этой программы.

4. Установить измеряемый объект на рабочем столике микроскопа под объективами в центральной части поля зрения (*рис.8.9*). Регулировочными винтами микроскопа провести настройку изображения объекта на резкость и выбрать характерный участок поверхности для измерения (контроль правильной установки проводится по экрану дисплея на панели программы).

Рис. 8.9. Измерение шероховатости поверхности на микроскопе МИС-11 с ТВ-камерой

5. На поле меню ТВ камеры нажать метку *Capture (R)* и в открывшемся поле выбрать внизу метку *Snapshot*. Раскрывается меню выбора места записи слайда. В строке внизу окна записать имя файла, присваиваемое слайду, и занести в память компьютера выбранное имя, нажав «*Сохранить*». Имя файла можно изменить, нажав левой кнопкой «мыши» на этом имени.

6. После сохранения полученного слайда выключить программу визуализации изображения на рабочем поле компьютера, нажимая на значок **X** в верхней правой зоне окна программы.

Б2. Измерения высоты неровностей на слайде и оформление результатов работы

7. На рабочем столе дисплея с помощью указателя «мыши» включить программу измерения, дважды нажав левую клавишу «мыши» на метке (*Profile*), при этом открывается панель программы (*Pixel Profile*).

8. На панели программы выбрать метку «*Загрузить*» и нажатием левой клавиши «мыши» открыть панель программы выбора из базы записанных изображений. Нажать дважды левую клавишу «мыши» на выбранном имени изображения, при этом открывается окно с выбранным изображением.

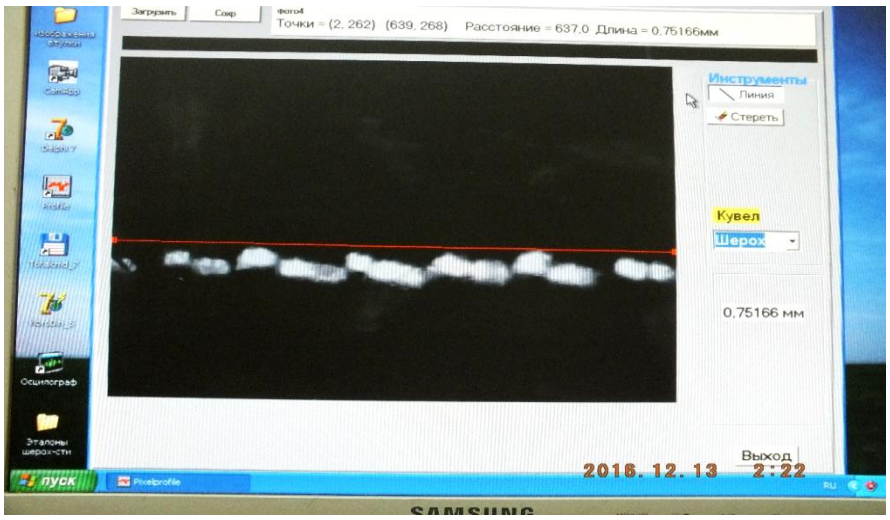
9. На панели программы под меткой «*Кувел*» помещается окно темно-серого цвета для выбора увеличения систем Бинокулярной Лупы или микроскопа МИС-11. Нажимая левую клавишу «мыши» на знаке ▼, открыть это окно и выбрать имя «*Шерох*», при котором производится измерение шероховатости поверхности детали на выбранном слайде.

10. На панели «*Инструменты*» нажать левую клавишу «мыши» на надписи «*Линия*». Тщательно установить метку «мыши» на начальной точке измерения – одной из вершин неровностей изображения, нажать клавишу «мыши» (появляется красная квадратная отметка) и, не отпуская клавишу, переместить метку на вторую точку измерения – вершину. При этом проводится реперная линия по верхнему краю изображения шероховатостей поверхности (*рис. 8.10, а* и *б*).

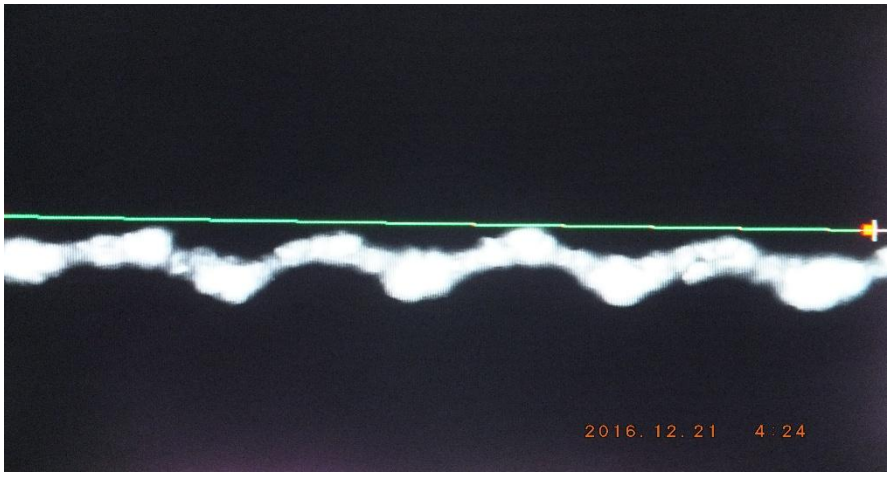
11. Затем перевести метку во впадину между вершинами, нажать клавишу до появления красной квадратной отметки (*рис. 8.11*) и, не отпуская клавишу «мыши», переместить метку строго перпендикулярно реперной линии до пересечения с ней. При этом на панели результатов показывается численное значение измеряемой величины шероховатости в мм.

Примечание. Учитывая высокую точность измерения, следует тщательно совмещать метки с элементами изображения на слайде – точками профиля и реперной линией.

12. Перемещая продольным винтом микроскопа измеряемую деталь, последовательно выполнить измерения пяти характерных неровностей поверхности детали. Определить среднеарифметическое значение R_z и, сравнивая полученное значение шероховатости с заданным на чертеже, сделать заключение о годности детали по этому параметру.



а



б

Рис. 8.10. Варианты нанесения реперной линии

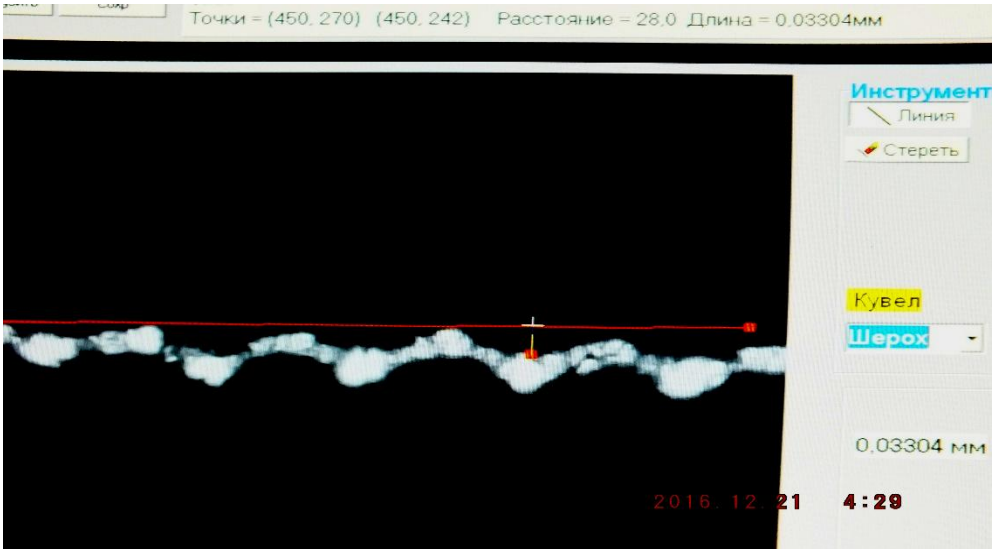


Рис. 8.11. Измерение высоты неровностей на экране компьютера

13. Сделать заключение о годности детали, сравнивая визуально шероховатость ее поверхности с эталонами шероховатости. Сделать вывод о качестве визуальной оценки шероховатости по образцам шероховатости и измерений на микроскопе.

14. Заполнить отчет по работе со всеми иллюстрациями и расчетными данными.

15. После окончания работ выключить систему. Сначала в установленном порядке выключить компьютер, затем блок управления освещением и отключить питание 220 В на распределителе питания.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под шероховатостью поверхности?
2. Каковы причины образования продольной и поперечной шероховатости?
3. Перечислите нормируемые параметры шероховатости поверхности.
4. Какими параметрами характеризуется шероховатость поверхности?
5. Какие методы и средства измерений используют для контроля шероховатости поверхности? Перечислите их основные достоинства и недостатки.
6. Поясните сущность визуального метода оценки шероховатости поверхности. Каковы его достоинства и недостатки?
7. Каково назначение образцов (эталонов) шероховатости? Поясните правила их применения.
8. Каков принцип действия и особенности контактного метода шероховатости поверхностей? Какие приборы применяют для этого метода?
9. На чем основан принцип бесконтактного метода измерения шероховатости? Каковы области его применения?
10. Изложите принцип действия приборов светового и теневого сечения.
11. Перечислите последовательность проведения измерений шероховатости при помощи окулярного микрометра.
12. Каковы особенности измерения шероховатости с использованием ТВ-камеры и компьютера?

9. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБЫ

9.1. Основные параметры резьбы, методы и средства их контроля

Резьбовые соединения встречаются в машиностроении почти столь же часто, как и гладкие сопряжения. Наибольшее распространение на практике получила метрическая резьба.

Основными параметрами метрической резьбы по ГОСТ 11708–82 являются средний (d_2 и D_2), наружный (d и D) и внутренний (d_1 и D_1) диаметры, шаг P и угол профиля резьбы α (*рис. 9.1*). Именно они прежде всего определяют

эксплуатационные свойства резьбового соединения: взаимозаменяемость, свинчиваемость, точность, прочность, характер контакта и др.

На практике применяют два метода контроля точности параметров резьбы – дифференцированный (поэлементный) и комплексный.

Дифференцированный метод находит применение для более точных измерений отдельных элементов резьбы, когда на каждый из них представлены допуски. Метод достаточно сложный и трудоемкий, поэтому применяется при изготовлении и контроле точной резьбы (резьбообразующего инструмента, резьбовых калибров, специальной резьбовых профилей), а также при определении причин возникновения брака и при отработке технологического процесса.

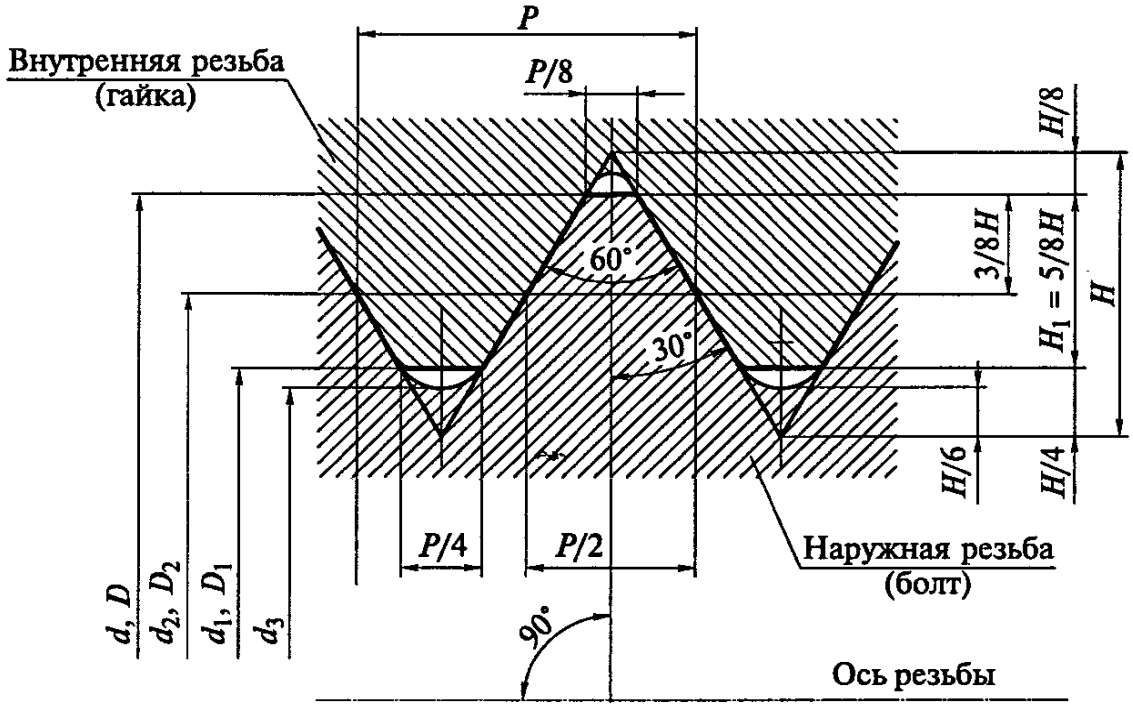
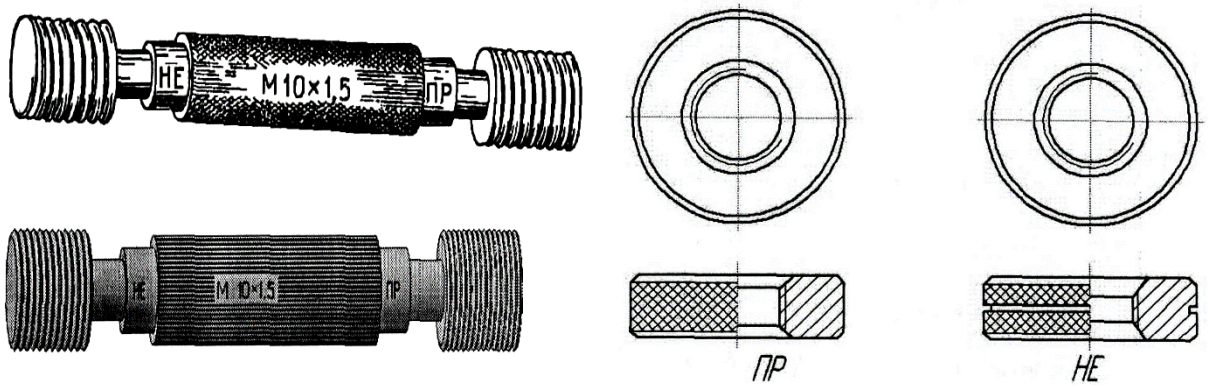


Рис. 9.1. Основные параметры метрической резьбы

Комплексный метод применяют для контроля деталей, у которых допуск среднего диаметра резьбы является суммарным допуском, в котором учтены погрешности шага и профиля. При использовании этого метода осуществляется одновременный контроль среднего диаметра, шага, половины угла профиля, наружного и внутреннего диаметров резьбы, при этом происходит сравнение действительных размеров с предельными размерами. *Комплексный метод* используется главным образом при контроле предельными резьбовыми калибрами: кольцами, скобами и пробками (*рис. 9.2*). Резьбовые калибры являются основными средствами контроля точности изготовления резьбы в условиях крупносерийного и массового производства. По необходимости резьбовые калибры также могут быть использованы в единичном и мелкосерийном производстве.



а *б*

Рис. 9.2. Резьбовые калибры: *а* – пробки; *б* – кольца

Для проведения контроля отдельных параметров резьбы на практике применяют следующие средства измерений:

а) **параметры наружной резьбы (болта).** Наиболее простым и достаточно точным способом определения *наружного диаметра d болта* является измерение штангенциркулем и гладким микрометром. *Средний диаметр* d_2 *болта* может быть измерен резьбовым микрометром или гладким микрометром методом трёх калиброванных проволочек. Измерение *внутреннего диаметра* d_1 *болта* представляет наибольшую трудность. Здесь приходится использовать оптические приборы (лупы, микроскопы) с микрометрической парой и измерением «на просвет». *Шаг резьбы P болта* проще всего контролировать шаблоном – резьбовым шагомером. *Угол профиля резьбы α или α/2 болта* также измеряется «на просвет» чаще всего на инструментальных микроскопах.

Все пять основных параметров резьбы болта можно измерить на инструментальном микроскопе абсолютным методом;

б) **параметры внутренней резьбы (гайки)**. Наиболее доступным для измерения универсальными средствами является только *внутренний диаметр* D_1 *гайки*, который можно легко измерить штангенциркулем. Остальные параметры резьбы гайки можно измерить по слепку, снятому с профиля резьбы внутри гайки.

9.2. Практическая работа по измерению элементов резьбы универсальными средствами измерений

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

- изучить методы и средства контроля параметров резьбовых соединений;
- освоить методику измерения резьб, получить навыки работы с резьбоизмерительными приборами;
- проверить соответствие основных параметров заданной резьбы требованиям чертежа и сделать заключение об их годности.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- комплект средств измерений: шаблон резьбовый, штангенциркуль, микрометр гладкий МК25, микрометр резьбовый МВМ, проволочки для измерения среднего диаметра резьбы, стойки микрометрические, микроскоп инструментальный;
- лупа бинокулярная с компактной ТВ-камерой и компьютером;
- таблицы основных параметров и допусков резьбы, стандарты;
- контролируемые детали, их чертежи.

9.2.1. Порядок проведения измерений

1. Изучить теоретическую часть работы (п. 9.1).

2. Получить индивидуальное задание: учебную деталь с её чертежом (*приложение А*), комплект средств измерений, таблицы ГОСТ 25347–2013.

3. Подготовить бланк отчета по работе (*приложение Б.7*) и занести в него технические характеристики применяемых средств измерений.

4. Изучить чертеж детали и записать в бланк отчета (*табл. Б.7.1* и *Б.7.2*) номинальные и предельные размеры параметров резьбы, используя данные *табл. 9.1* или стандарт [24].

Таблица 9.1. **Номинальные размеры среднего и внутреннего диаметров метрических резьб (выписка из стандарта [24])**

Номинальный диаметр резьбы d, мм	Шаг резьбы P, мм	Диаметры резьбы		
		$d = D$	$d_2 = D_2$	$d_1 = D_1$
12	1,75	12,0	10,863	10,106
14	2,0	14,0	12,701	11,835
16	2,0	16,0	14,701	13,835
18	2,5	18,0	16,376	15,394

5. Перед началом измерений каждого параметра проверить исправность измерительного прибора.

6. Определить шаг резьбы контролируемой детали резьбовым шаблоном (*рис. 9.3*).

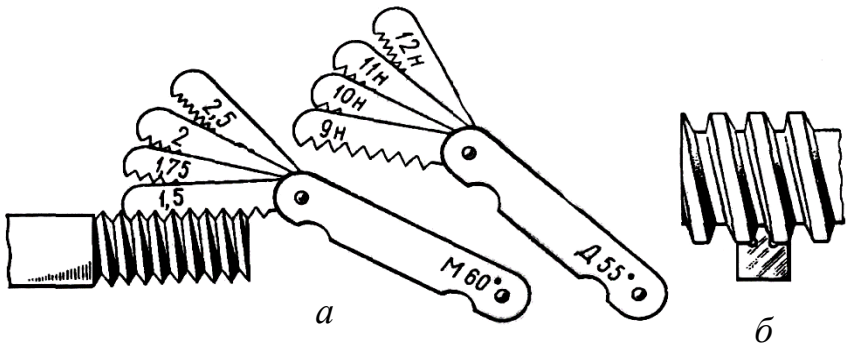


Рис. 9.3. Резьбовые шаблоны: *а* – контроль шага резьбы; *б* – контроль профиля

7. Произвести измерения наружного диаметра резьбы *М* детали (см. чертеж, *приложение А*) штангенциркулем и гладким микрометром. Каждое измерение проводить не менее трех раз. Данные записать в *табл. Б.7.2* отчета.

9.2.2. Измерение среднего диаметра d_2 резьбы болта

А. Измерение среднего диаметра резьбовым микрометром МВМ

Устройство микрометра МВМ. Микрометр МВМ состоит из скобы *1* (*рис. 9.4*), пяты *2*, призматической вставки *3*, конической вставки *4*, шпинделя с микрометром *5*, зажима шпинделя *6*, стебля со шкалой *7*, барабана с круговой шкалой *8* и трещотки *9*. Конструкция этого микрометра отличается от конструкции гладкого микрометра тем, что торцы микровинта и пятки имеют отверстия, в которые вставляются специальные вставки *3* и *4*. При измерении резьбы размер вставок выбирается в зависимости от шага резьбы. Интервал шагов проверяемой резьбы маркируется на вставках.

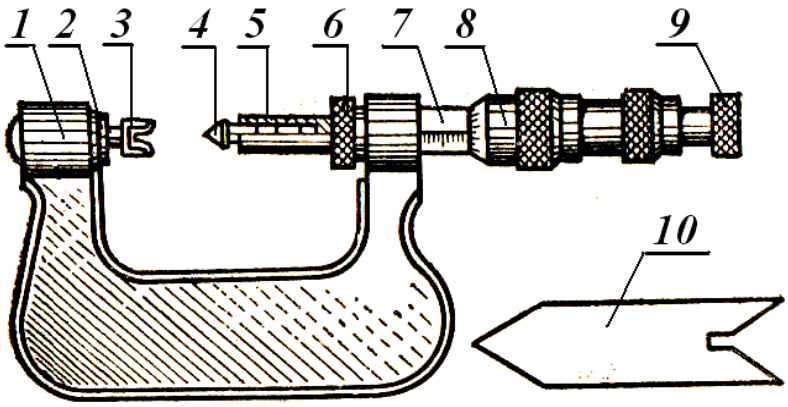


Рис. 9.4. Резьбовой микрометр: *1* – скоба; *2* – пятка; *3* – призматическая вставка; *4* – коническая вставка; *5* – микровинт; *6* – зажим шпинделя; *7* – стебель; *8* – барабан; *9* – трещотка; *10* – установочная мера

Проверка нулевой установки для микрометра 0–25 мм производится при соприкосновении поверхностей призматической и конической вставки. Для микрометров 25–50, 50–75 мм и т. д. проверка нулевой установки производится по специальной установочной мере *10*.

Порядок измерения микрометром МВМ следующий:

а) закрепить микрометр в стойке и проверить установку нуля;

б) определить шаг измеряемой резьбы шаговым резьбомером;

в) подобрать по шагу резьбы соответствующую пару вставок и установить их в микрометре (*рис. 9.5, а* и *9.6*);

г) произвести измерение трех ниток резьбы по всей длине свинчивания и записать результаты измерений в таблицу отчета;

д) по таблице стандарта ГОСТ 16093-81 или по пособию [29] установить предельные размеры среднего диаметра измеряемой резьбы $d_{2\,нм}$ и $d_{2\,нб}$;

е) сравнить действительные размеры с предельными размерами и сделать в отчете заключение о годности резьбы.

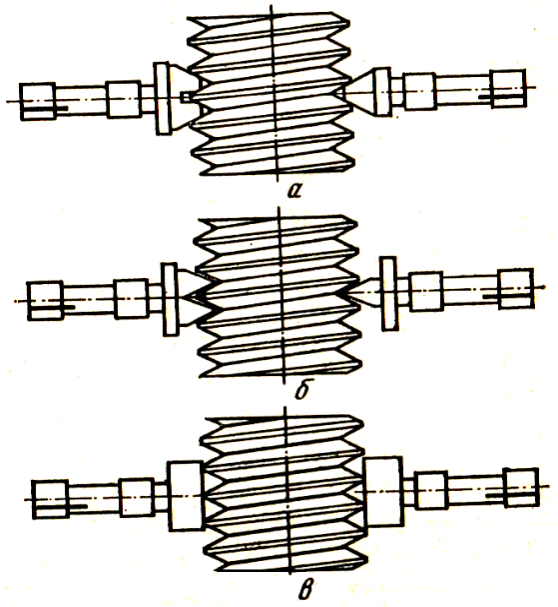


Рис. 9.5. Схема измерения диаметра резьбы микрометром:
а – среднего; *б* – внутреннего;
в – наружного

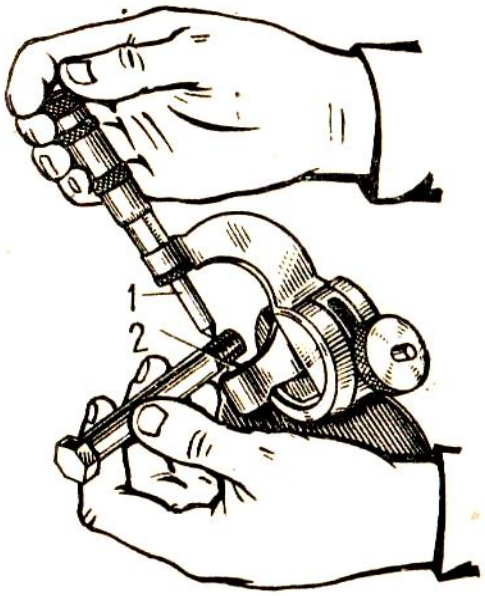


Рис. 9.6. Прием микрометром:
1 и *2* – коническая измерение резьбы и призматическая резьбовые вставки

Б. Измерение среднего диаметра d_2 болта методом трех проволочек

Измерение среднего диаметра при помощи трех проволочек является достаточно распространенным методом при контроле небольших резьб и заключается в определении размера *M* (*рис. 9.7, а*) с использованием гладкого микрометра, оптиметра или вертикального длиномера.

Диаметр $d_{пров}$ (мм) проволочек выбирают из стандартного ряда так, чтобы при измерении проволочки касались профиля резьбы в тех точках, где ширина канавки равна половине номинального шага (*рис. 9.7, б*), т. е.:

$$d_{пров} = \frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}}. \qquad (9.1)$$

Это условие позволяет устранить влияние погрешностей угла профиля на результаты измерений.

Диаметр проволочек проставляется на бирках, которые прикрепляются к проволочкам (*рис. 9.7, в*). Средняя калиброванная часть проволочки выполняется с отклонениями, не превышающими 1 мкм.

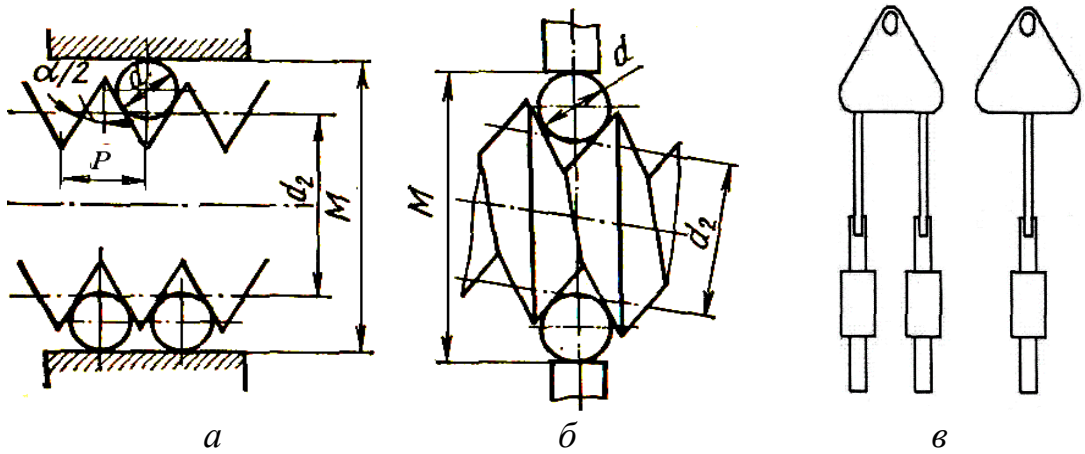


Рис. 9.7. Измерение среднего диаметра резьбы проволочками:
а – тремя проволочками; *б* – двумя проволочками;
в – калиброванные проволочки на бирках

Средний диаметр метрической резьбы при измерении тремя проволочками определяется по формуле

$$d_2 = M - 3\,d_{\text{пров}} + 0{,}866\,P; \qquad (9.2)$$

при небольшом числе витков применяют метод двух проволочек, тогда

$$d_2 = M - 3\,d_{\text{пров}} - \frac{P^2}{8(M-d)} + 0{,}866\,P, \qquad (9.3)$$

где $d_{\text{пров}}$ – рекомендуемый диаметр проволочек, мм (*табл. 9.2*);
P – шаг резьбы, мм.

Таблица 9.2. **Размеры проволочек для метрической резьбы**

Шаг резьбы, мм	0,5	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
Рекомендуемый диаметр проволочки, мм	0,291	0,343	0,461	0,572	0,724	0,366	1,008	1,157	1,441	1,732

Порядок измерения среднего диаметра методом трёх проволочек:

а) установить и закрепить гладкий микрометр на стойке (*рис. 9.8*); проверить настройку микрометра на ноль;

б) определить шаг *P* резьбы при помощи резьбомера и подобрать проволочки для измерения d_2, пользуясь *табл. 9.2*;

в) укрепить проволочки *2* на держателе *3* (*рис. 9.8*);

г) взять измеряемую деталь и аккуратно заложить проволочки так, чтобы одна из них лежала во впадине с одной стороны резьбы, а две другие – в соседних впадинах на противоположной стороне резьбы (*рис. 9.7, а*);

д) измерить размер *M* гладким микрометром в трех местах на всей длине резьбы и подсчитать по формуле (9.2) величину среднего диаметра d_2;

е) сравнив полученные действительные значения d_2 с предельными значениями, сделать заключение о годности резьбы по среднему диаметру;

ж) результаты измерений занести в таблицу отчета.

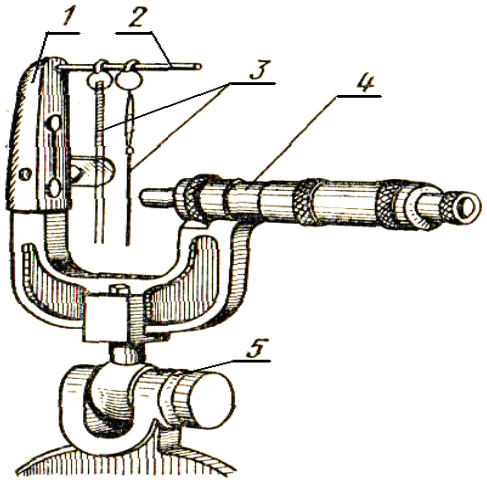


Рис. 9.8. Гладкий микрометр и проволочки на стойке

9.2.3. Измерение внутреннего диаметра d_2 и шага *P* резьбы болта с использованием ТВ-камеры

Вся операция проводится в 2 этапа: I. Деталь размещается на подставке под объективом в поле «зрения» электронной лупы, затем проводится фотофиксация измеряемой детали в виде слайда; II. Проводятся измерения выбранных деталей объектов на слайде.

Последовательность действий при измерениях

а) включить питание компьютера (220 В) и освещение рабочего поля электронной лупы, установить измеряемую деталь на столике лупы или на призме (*рис.9.9*);

Рис. 9.9. Измеряемая деталь на столике лупы

б) на рабочем столе дисплея установить указатель «мыши» на метке программы визуализации изображения (*СамApp*) и двумя щелчками левой клавиши «мыши» открыть панель программы;

в) установить деталь под объективом в поле зрения лупы, размещая измеряемую резьбу в центральной зоне поля, при этом контроль правильной установки проводится по экрану дисплея компьютера на панели программы (*рис. 9.10*);

г) установить необходимую кратность увеличения изображения с помощью круглой рукоятки на правом боку корпуса лупы;

д) выполнить фото-фиксацию измеряемой детали в виде слайда и занести слайд в базу данных. С этой целью на поле меню электронной камеры выбрать метку *Capture (R*) и в поле ниже выбрать метку *Snapshot*, при этом открывается окно выбора места записи слайда. На строке внизу окна записи с помощью клавиатуры компьютера следует записать присвоенное имя слайда, учитывая выбранное увеличение лупы. Затем выключить поле лупы на экране компьютера (значок «X» в верхней правой зоне окна лупы);

е) открыть панель программы на рабочем столе дисплея с помощью указателя «мыши» на метке программы измерения (*Profile*) – два щелчка левой клавиши «мыши»;

ж) на панели этой программы на метке «*Загрузить*» нажать левую клавишу «мыши», при этом открывается панель программы выбора из базы записанных изображений (с окошком визуализации). Нажать левую клавишу «мыши» на выбранном изображении;

з) на панели под меткой «*Кувел*» темно-серого цвета помещается окошко выбора увеличения лупы. Нажав левую клавишу «мыши», открыть окно выбора увеличений лупы и выбрать увеличение, при котором произведена фиксация слайда;

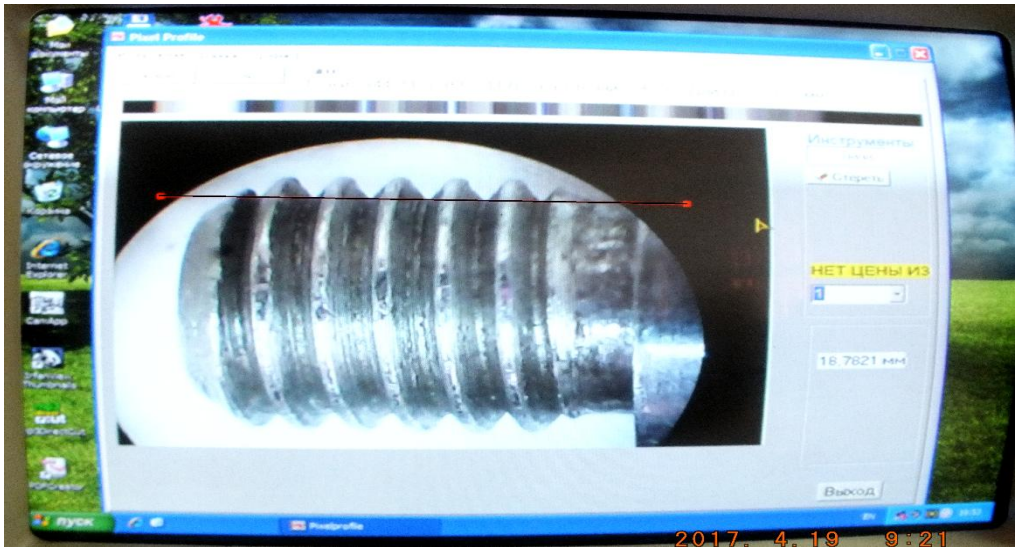


Рис. 9.10. Изображение резьбы на экране компьютера и нанесение реперной линии

и) на выбранном изображении тщательно установить метку «мыши» на начальной точке измерения, нажать левую клавишу (появляется красная квадратная отметка) и, не отпуская клавишу, переместить метку на вторую точку измерения (*рис. 9.11* и *9.12*). При этом на панели результатов показывается численное значение измеряемого размера резьбы в мм;

Примечание. Учитывая высокую точность измерения, следует тщательно совмещать метки с элементами изображения на слайде – точками профиля и реперной линией).

к) полученное на панели результатов численное значение измеряемой величины занести в таблицу отчета;

л) перемещая измеряемую деталь, последовательно выполнить не менее трех измерений элементов резьбы. Определить среднеарифметическое значение и, сравнивая полученное значение с предельными размерами, сделать заключение о годности детали по контролируемому параметру; занести результаты в отчет;

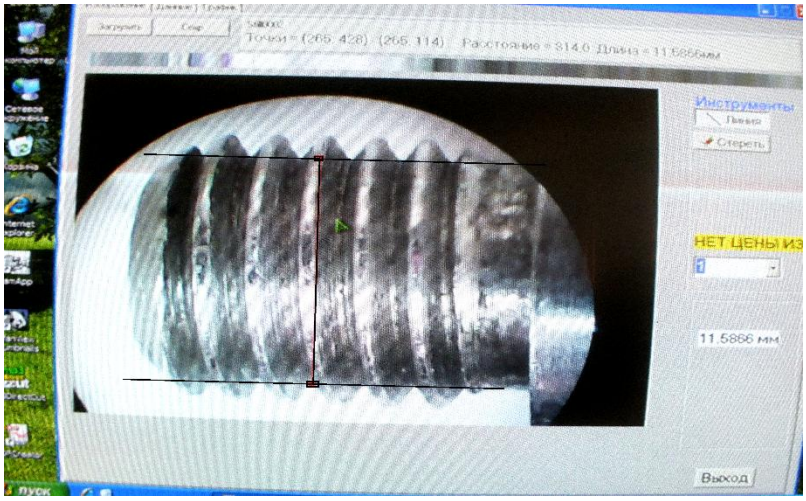


Рис. 9.11. Измерение внутреннего диаметра

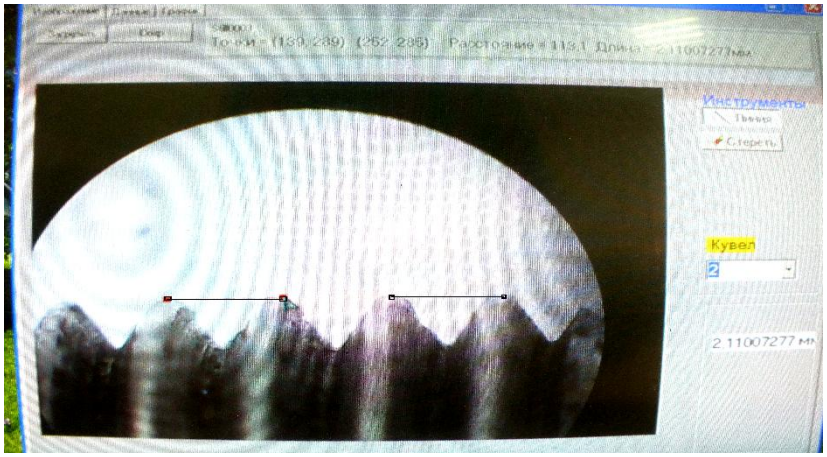


Рис.9.12. Измерение шага резьбы на экране монитора

м) после окончания работ выключить систему измерения: сначала выключить блок управления освещением лупы, затем компьютер в установленном порядке и отключить питание 220 В на распределителе питания.

9.3. Измерение резьбы на инструментальном микроскопе

9.3.1. Назначение и устройство инструментального микроскопа

Инструментальные микроскопы – большой (БМИ) и малый (ММИ) являются оптико-механическими приборами. На них можно производить измерения: наружных размеров в проходящем и отраженном свете, углов изделий, криволинейных размеров (в прямоугольных и полярных координатах), параметров резьбы.

Пределы измерения микроскопов составляют: для линейных размеров в продольном направлении 0–75 мм; в поперечном направлении 0–25 мм; для угловых размеров 0–360°. Цена деления шкалы отсчетных барабанов составляет 0,01 мм (10 мкм) для ММИ и 0,005 мм (5 мкм) для БМИ. Точность отсчета по угловой шкале составляет 1′.

Инструментальный микроскоп снабжен объективами с увеличением 1^x, 3^x, 5^x, соответственно увеличение микроскопа составляет 10^x, 30^x, 50^x.

Микроскоп состоит из основания *1* (*рис. 9.13*), измерительного столика *3*, колонны *11*, поворачивающейся на шарнире *12* с помощью рукоятки *13*. Столик может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях посредством маховичков *2* и *4*.

По направляющим колонны передвигается кронштейн *10*, несущий в нижней части тубус *5*, в который ввинчиваются сменные объективы, а в верхней – окулярную головку *9*. В задней стенке основания установлен осветитель *14*. Лимб с перекрестиями, находящийся в окулярной головке, поворачивается с помощью маховичка *8*. На краю головки установлена отсчетная лупа *7* для снятия

показаний лимба. Угломерная шкала подсвечивается светом, отраженным от зеркала *6*.

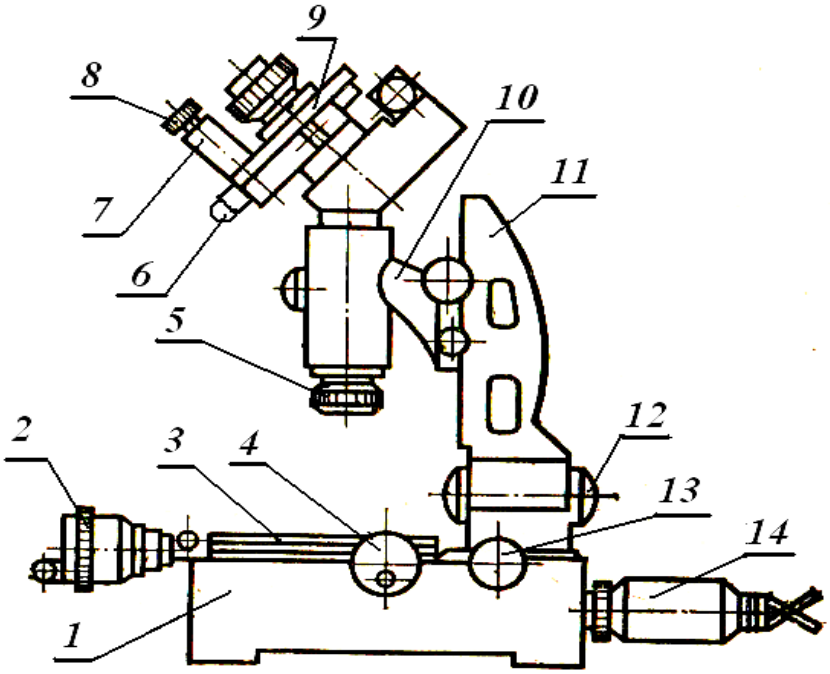


Рис. 9.13. Устройство инструментального микроскопа

9.3.2. Измерения элементов резьбы на инструментальном микроскопе

1. Измеряемое изделие промыть в бензине, протереть салфеткой и установить на измерительном столике прибора или в центрах.

2. Включить прибор в сеть, проверить освещение окуляра и угловой шкалы.

3. Произвести настройку на резкость перемещением кронштейна по колонне (грубая настройка) и тубусом объектива (точная настройка).

4. Произвести *измерения наружного и внутреннего диметров* (d, d_1). Для этого следует:

а) с помощью поперечного микровинта *2* совместить одну из образующих наружного диаметра d с горизонтальной линией сетки угломерной головки. Записать первое показание шкалы микровинта (*рис. 9.14,* 1-й отсчет);

б) вращая поперечный микровинт, перевести изображение детали до совпадения с горизонтальной линией сетки противоположной образующей d резьбы. При этом записать второе показание шкалы микровинта (2-й отсчет);

в) определить наружный диаметр как разность первого и второго отсчетов;

г) аналогично определить внутренний диаметр d_1.

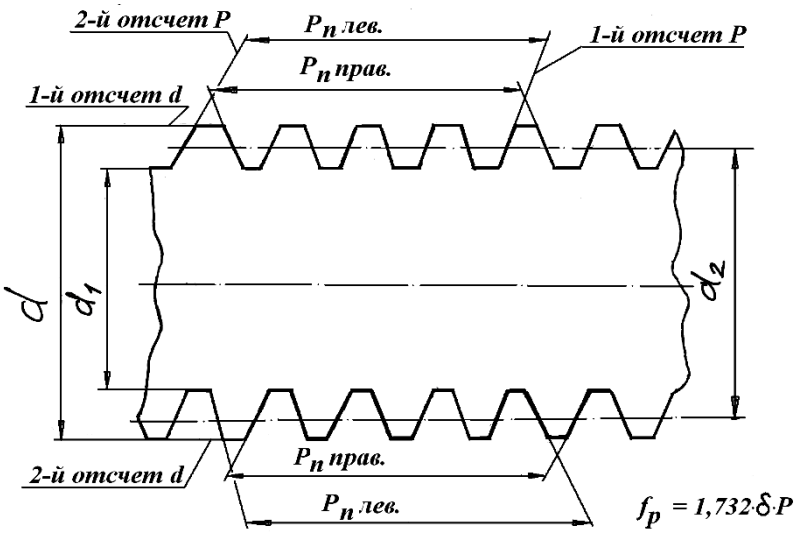


Рис. 9.14. Схема измерения наружного d и внутреннего d_1 диаметров, шага P резьбы

5. Произвести *измерение шага резьбы*. Для этого следует:

а) с помощью микровинтов столика и маховичка *8* лимба угломерной головки совместить одну из наклонных линий сетки с одной из сторон профиля (*рис. 9.14*). При этом записать показания шкалы продольного микровинта (1-й отсчет);

б) продольным микровинтом *4* переместить измеряемый профиль вдоль оси на 5 витков и совместить эту же линию сетки с одноименной стороной резьбы. Сделать 2-й отсчет;

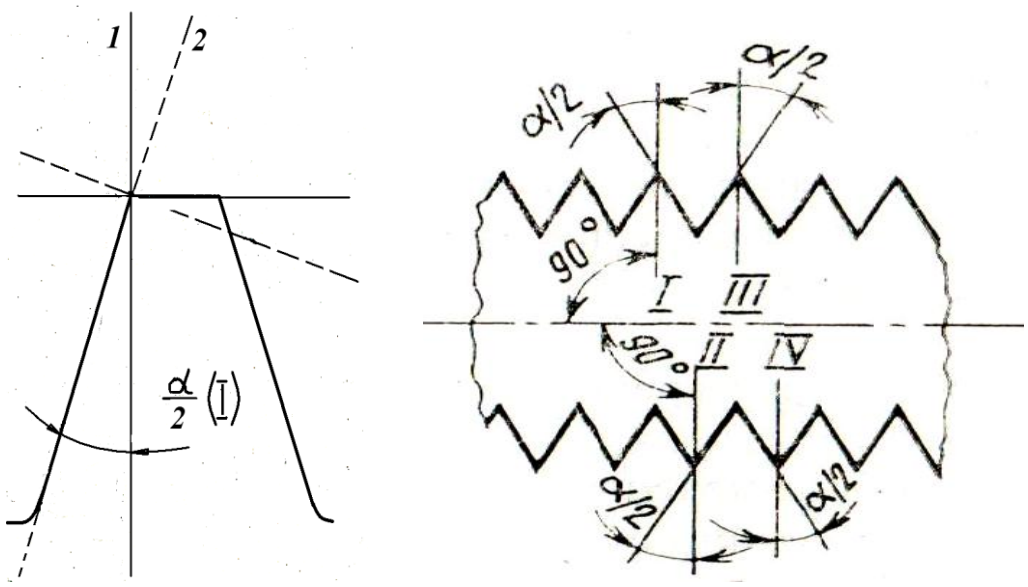
в) вычислить величину действительного шага резьбы как разность 1-го и 2-го отсчетов, поделенная на число шагов. Результаты занести в таблицу отчета;

г) выполнить п. *а–в* для другой стороны профиля резьбы.

6. Произвести *измерение половины угла стороны профиля* резьбы:

а) с помощью микровинтов совместить вершину угла профиля с центром креста угломерной головки (*рис. 9.15*, *а*, положение 1);

б) вращая маховичок *8* угломерной головки, совместить вертикальную линию перекрестия со стороной профиля (*рис. 9.15*, *а*, положение 2) и снять показания угломерной шкалы, т. е. величину $\alpha/2$ *I*;



а *б*

Рис. 9.15. Измерение половины угла профиля резьбы

в) произвести измерения аналогично для $\propto/_2\,II$, $\propto/_2\,III$, $\propto/_2\,IV$ (*рис. 9.15, б*);

г) вычислить величину половины углов по левой и правой сторонам профиля:

$$\frac{\propto}{2}\text{прав} = \frac{\frac{\propto}{2}III + \frac{\propto}{2}IV}{2}, \qquad \frac{\propto}{2}\text{лев} = \frac{\frac{\propto}{2}I + \frac{\propto}{2}II}{2};$$

д) определить отклонения правой и левой сторон угла профиля:

$$\Delta\frac{\propto}{2}\text{пр} = \propto_{\text{ном}} - \frac{\propto}{2}\text{прав}, \qquad \Delta\frac{\propto}{2}\text{лев} = \propto_{\text{ном}} - \frac{\propto}{2}\text{лев};$$

е) определить суммарное отклонение половины угла профиля:

$$\Delta\frac{\propto}{2} = \frac{\left|\Delta\frac{\propto}{2}\text{пр}\right| + \left|\Delta\frac{\propto}{2}\text{лев}\right|}{2};$$

ж) результаты занести в таблицу отчета.

з) определить годность резьбы по среднему диаметру (*рис. 9.16*):

$$d_{2\text{нм}} \le d_{2\text{изм}} \le d_{2\text{нб}}, \quad d_{2\text{нм}} \le d_{2\text{прив}} \le d_{2\text{нб}},$$

$$\text{т. е. } d_{2\text{прив}} = d_{2\text{изм}} + f_{\text{р}} + f_{\alpha},$$

где $f_{\text{р}}$ – диаметральная компенсация погрешностей шага для метрической резьбы, мкм, $f_{\text{р}} = 1{,}732 \cdot \Delta\text{P}$; ΔP – погрешность шага, мм;

f_{α} – диаметральная компенсация погрешностей половины угла профиля для метрической резьбы, мкм, $f_{\alpha} = 0{,}36 \cdot \text{P} \cdot \Delta\frac{\propto}{2}$; (P – шаг, мм; $\Delta\frac{\propto}{2}$ – в минутах).

Результаты работы представить в отчете.

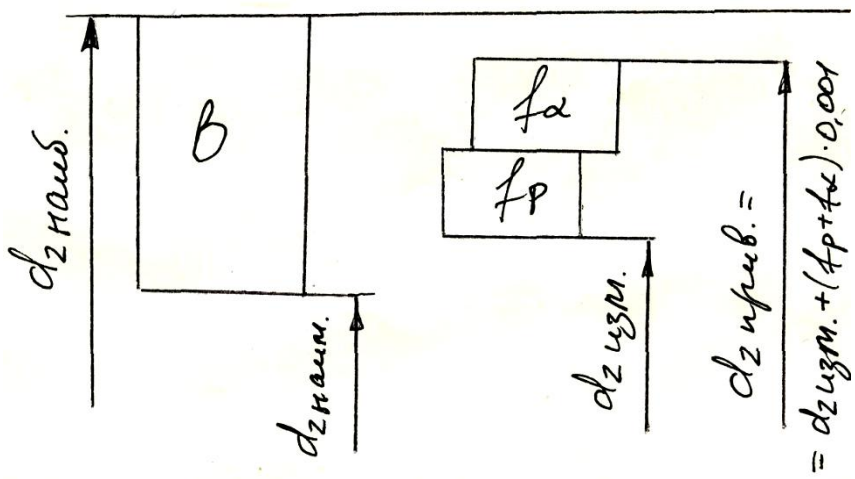


Рис. 9.16. Схема полей допусков резьбы для определния годности по среднему диаметру

Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры метрической резьбы и их обозначения.
2. Поясните сущность комплексного метода контроля резьбы.
3. Как осуществляется дифференцированный метод контроля резьбы?
4. Какие элементы резьбы проверяются при использовании резьбовых калибров?
5. Назовите способы контроля среднего диаметра резьбы.
6. Поясните принцип измерения среднего диаметра резьбы микрометром со вставками.
7. Сущность контроля среднего диаметра резьбы с использованием проволочек.
8. Поясните принцип измерения параметров в проходящем свете резьбы на инструментальном микроскопе.
9. Каковы достоинства контроля параметров резьбы с использованием ТВ-камеры и компьютера?
10. Назовите методы и средства контроля шага и угла профиля резьбы.

10. КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

10.1. Методика выбора контрольного комплекса параметров точности зубчатого колеса

Для обеспечения качественной и долговечной работы зубчатой передачи погрешности изготовления и монтажа зубчатых цилиндрических и червячных колес и передач ограничены допусками и предельными отклонениями.

На эвольвентные цилиндрические зубчатые колеса с модулем от 1 до 56 мм и делительным диаметром до 1250 мм допуски и предельные отклонения установлены стандартом [6]. Данный стандарт охватывает передачи внешнего и

внутреннего зацепления с прямыми, косыми и шевронными зубчатыми колесами.

Стандартом установлено для цилиндрических зубчатых колес двенадцать степеней точности – от 1 до 12 в порядке снижения точности, при этом 1-я и 2-я степени являются резервными. Нормы на них будут разработаны и установлены по мере развития техники и технологии обработки зубчатых колес. В каждой степени точности предусмотрен ряд нормативных показателей, определяющих кинематическую точность колеса, плавность работы колеса, контакт зубьев в передаче. Независимо от них предусмотрены нормы бокового зазора в передаче (*табл. 10.1*).

Значительное разнообразие параметров точности зубчатых колес и передач, различие в их габаритных размерах и способах изготовления создают необходимость применения разнообразных средств контроля как универсальных, так и специальных (*табл. 10.1*), что не позволяют установить единый унифицированный способ контроля точности различных видов колес.

Таблица 10.1. **Нормируемые показатели точности и средства контроля зубчатых колес**

Показатели точности зубчатого колеса	Средства измерений (для модуля m >1 мм)	Нормируемые степени точности
Нормы кинематической точности		
Кинематическая погрешность колеса F'_{ir} (допуск F'_i)	Кинематомер ВВ-5033, Приборы БВ-936, УКМ-5	3 . . . 8
Накопленная погрешность шага по колесу F_{pr} (допуск F_p)	Шагомеры типа ШМ-1, 2КШ, приборы БВ-5001м, БВ-5015	3 . . . 8
Радиальное биение зубчатого венца F_{rr} (допуск F_r)	Биениемер Б-10м, прибор БВ-5015, биениемер мод. 25002	3 . . . 12
Колебание длины общей нормали F_{vWr} (допуск F_{vW})	Нормалемер БВ-5045, микрометр зубомерный МЗ, прибор БВ-5015	3 . . . 8
Погрешность обката F_{cr}	То же, что для F_{vWr}	3 . . . 12
Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот F''_{ir}	Межцентромеры МЦ-320, МЦ-400б, приборы БВ-5029, БВ-5050	5 . . . 12
Нормы плавности		
Местная кинематическая погрешность f'_{ir} (допуск f'_i)	Те же, что для F'_{ir} или волномер БВ-5024	3 . . . 8
Циклическая погрешность зубцовой частоты колеса f_{zzr} (допуск f_{zz})	Те же, что для F'_i	3 . . . 8
Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе f''_{ir}	Те же, что для F''_{ir}	5 . . . 12
Отклонение шага зацепления (основного) f_{pbr} (допуск f_{pb})	Шагомеры мод. 21501, ВВ-5043, прибор БВ-5015	3 . . . 12

Окончание табл. 10.1

Показатели точности зубчатого колеса	Средства измерений (для модуля m >1 мм)	Нормируемые степени точности
Отклонение шага (окружного) f_{ptr} (допуск f_{pt})	Шагомеры мод. БВ-5043, 2КШ, прибор БВ-5015	3 . . . 12
Погрешность профиля f_{fr} (допуск f_f)	Эвольвентомер универсальный БВ-5032 или индивидуально-дисковый	3 . . . 8
Нормы контакта		
Суммарное пятно контакта	Контрольнообкатные станки, межцентромеры	3 . . . 11
Погрешность направления зуба $F_{\beta r}$ (допуск F_β)	Ходомер БВ-5034, приборы с перемещением измерительного узла параллельно оси центров	3 . . . 12
Суммарная погрешность контактной линии F_{kr} (допуск F_k)	Те же, что для пятна контакта	3 . . . 12
Отклонение осевых шагов по нормали F_{Pxnr} (допуск F_{Pxn})	Универсальный контактомер ВВ-5034	3 . . . 12
Отклонение от параллельности осей f_{xr} (допуск f_x)	Универсальные и специальные приборы	3 . . . 12
Перекос осей передачи f_{yr} (допуск f_y)	То же	3 . . . 12
Нормы бокового зазора		
Гарантированный боковой зазор $j_{n\,\min}$ (допуск бокового зазора T_{jn}	Щупы, контрольные пластины	Все виды сопряжений (H, D, C, B, E, A)
Наименьшее дополнительное смещение исходного контура E_{Hs} (допуск T_H)	Зубомер смещения 2301, кромочные зубомеры БИ-5016к и ЗИМ-16	То же
Наименьшее отклонение длины общей нормали E_{Ws} (допуск T_W)	То же, что для F_{vWr}	–"–
Наименьшее отклонение средней длины общей нормали E_{Wms} (допуск T_{Wm})	То же, что для F_{vWr}	–"–
Наименьшее отклонение толщины зуба E_{Cs} (допуск T_C)	Кромочные зубомеры ШЗ, ЗИМ-16	–"–
Предельные отклонения измерительного межосевого расстояния: верхнее ($E_{a''s}$) и нижнее ($E_{a''i}$)	То же, что для F''_{ir}	–"–
Наименьшее отклонение размера по роликам E_{Ms}	Микрометр гладкий или рычажный	–"–

На практике контроль точности зубчатых колес проводится преимущественно на основе так называемых *контрольных комплексов показателей точности*. Из нескольких рекомендуемых стандартами равноправных контрольных комплексов изготовитель может выбрать один комплекс. Выбор его зависит от принятой на предприятии технологии изготовления зубчатых колес, от серийности производства, назначения, типа и требуемой точности зубчатых колес, наличия зубоизмерительных средств и др.

При назначении контрольного комплекса для проверки готовых зубчатых колес рекомендуется отдавать предпочтение таким комплексным показателям, которые выявляют совокупность погрешностей в условиях непрерывного процесса контроля. Такими являются показатели F'_{ir} (допуск F'_i), f_{zkr} (допуск f_{zk}), E_{Hs} (допуск T_H), суммарное пятно контакта (в %).

Эти показатели по сравнению с другими наиболее полно характеризуют точность зубчатых колес и передач и дают возможность установить вероятные сочетания различных погрешностей в работе зубчатой передачи, тогда как поэлементный контроль лишь выявляет относительное положение элементов зубчатых колес, не показывая их влияние на кинематику передачи.

Выбор поэлементных показателей точности вместо указанных комплексных показателей производится в следующих случаях:

1. При отсутствии в стандартах нормы точности на данный показатель (в частности, при назначении контрольного комплекса для цилиндрической зубчатой передачи по 9-й степени точности вместо показателя F'_{ir} появляется необходимость установить другой показатель, например, F''_{ir}, поскольку для зубчатых колес грубее 8-й степени точности нормы для F'_{ir} не представлены).

2. При отсутствии в метрологической службе средств измерений для контроля комплексного показателя (так, при отсутствии дорогостоящего однопрофильного прибора для контроля кинематической погрешности колеса F'_{ir} можно использовать приборы для контроля колеса по показателям кинематической точности F_{pr} и $F_{pкr}$).

3. При необходимости выявления погрешностей механической обработки (в том числе для подналадки технологического процесса) на основе контроля отдельных показателей точности зубчатых колес.

В *табл. 10.2* представлены примерные комплексы контроля цилиндрических зубчатых колес модулем более 1 мм, применяющиеся для окончательной приемки зубчатых колес в различных отраслях машиностроения.

Таблица 10.2. **Примерные контрольные комплексы показателей точности цилиндрических зубчатых колес**

Нормы	Показатели прочности					
	прямозубых и узких колес с $\varepsilon_\beta < 1{,}25$					широких косозубых с $\varepsilon_\beta > 1{,}25$ редукторов общего назначения
	измерительных, делительных, отчетных	авиационных, автомобильных, станочных, тракторных		тракторных, крановых, для с/х машин		
	Степени точности					
	3–5	4–6	6–8	8–9	9–11	6–8
Кинематической точности	F'_{ir} или F_{pr} и F_{pkr}	F'_{ir} или F_{pr} и F_{pkr}	F''_{ir} и F_{vWr}	F''_{ir} и F_{vWr} или F_{rr} и F_{vWr}	F_{rr}	F_{rr} и F_{cr}
Плавности	f'_{ir} или f_{pbr} и f_{fr}	f_{pbr} и f_{fr}	f''_{ir}	f''_{ir} или f_{ptr}	f_{ptr}	f''_{ir} или f_{ptr}
Контакта зубьев	$F_{\beta r}$	$F_{\beta r}$	Суммарное пятно контакта			F_{Pxnr} и f_{pbr} или суммарное пятно контакта
Бокового зазора	E_{Hs} или E_{M_s}	E_{Hs} или E_{M_s}	$E_{a''s}$ или E_{Wms}	$E_{a''s}$ или E_{Wms}	E_{Wms}	E_{Hs} или E_{Wms}

Выбор измерительных приборов для назначенного контрольного комплекса следует производить с учетом погрешности применяемого средства измерения (ГОСТ 5368–81 и ГОСТ 10387–81) и предельной погрешности, которая может быть допущена при измерении [2]. В частности, для контроля зубчатых колес высокой степени точности рекомендуется применять средства измерений, предельная погрешность которых не превышает 10–15 % величины допуска на контролируемой показатель. При измерении зубчатых колес более грубых степеней точности эта погрешность может быть увеличена до 35 % допуска на контролируемую величину.

10.2. Практическая работа с измерительными приборами

ЦЕЛИ РАБОТЫ:

➢ ознакомиться с контрольными комплексами зубчатых колес и правилами их выбора;

➢ получить навыки в подборе средств измерений для контроля отдельных параметров точности зубчатых колес;

➢ освоить методику контроля точности зубчатых колес при помощи выбранных средств измерений;

➢ получить навыки пользования стандартом ГОСТ 1643–81.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

➢ межцентромер, биениемер, шагомеры для проверки основного и окружного шага, микрометр зубомерный, эубомер смещения (тангенциальный), штангензубомер, нормалемер;

➢ проверяемые зубчатые колеса и чертежи к ним;

➢ штангенциркули ШЦ-1 или ШЦ-2, линейка стальная 0–200 мм;

➢ краска (берлинская лазурь, свинцовый сурик), тампон для нанесения краски;

➢ стандарты – ГОСТ 1643–81, ГОСТ 5368–81.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выбрать для проверяемого колеса по его назначению и условиям чертежа контрольный комплекс параметров точности (*табл. 10.2*).

2. Подобрать необходимый для работы измерительный инструмент из имеющихся в лаборатории средств измерений (*табл. 10.1*) и оформить установленные параметры в виде *табл. Б.9.1*.

3. Произвести измерения выбранных параметров точности, пользуясь указаниями по работе на приборах, изложенными ниже.

4. Сделать заключение о соответствии точности колеса точности, требуемой чертежу.

5. Полученные результаты оформить в виде отчета (*приложение Б.9, табл. Б.9.1–Б.9.8*).

10.3. Контроль параметров точности зубчатых колес

10.3.1. Контроль измерительного межосевого расстояния

Для оценки колебания измерительного межосевого расстояния применяют метод обкатки проверяемого колеса с измерительным колесом, который позволяет выявить суммарную погрешность взаимодействия двух пар профилей зубьев сопряженных колес. При этом погрешностью измерительного колеса, которое выбирается на две–три степени точнее контролируемого, пренебрегают.

Устройство межцентромера. Принцип работы межцентромеров состоит в том, что измеряемое зубчатое колесо *4* (*рис. 10.1*), установленное на оправке прибора, приводят в плотное зацепление с измерительным колесом *3*, расположенным на подвижной оправке. При обкатке колес неточность проверяемого зубчатого колеса приводит к колебаниям измерительного расстояния фиксируемым отсчетным устройством *2*.

Прибор состоит из станины *1*, по направляющим которой перемещается плавающий суппорт *11*, смонтированный для большей подвижности на шари-

ках, и жесткий суппорт *8*. Жесткий суппорт устанавливают в требуемое положение по шкале *9* и нониусу *10* при помощи маховичка *7*. На оправке подвижного суппорта устанавливается эталонное колесо *3*, а на оправке жесткого суппорта – проверяемое *4*. Суппорт *11* под действием пружины *5* прижимает эталонное колесо к проверяемому, создавая плотное двухпрофильное зацепление. Колебание измерительного межосевого расстояния фиксируется индикатором *2* с ценой деления 0,01 или 0,001 мм.

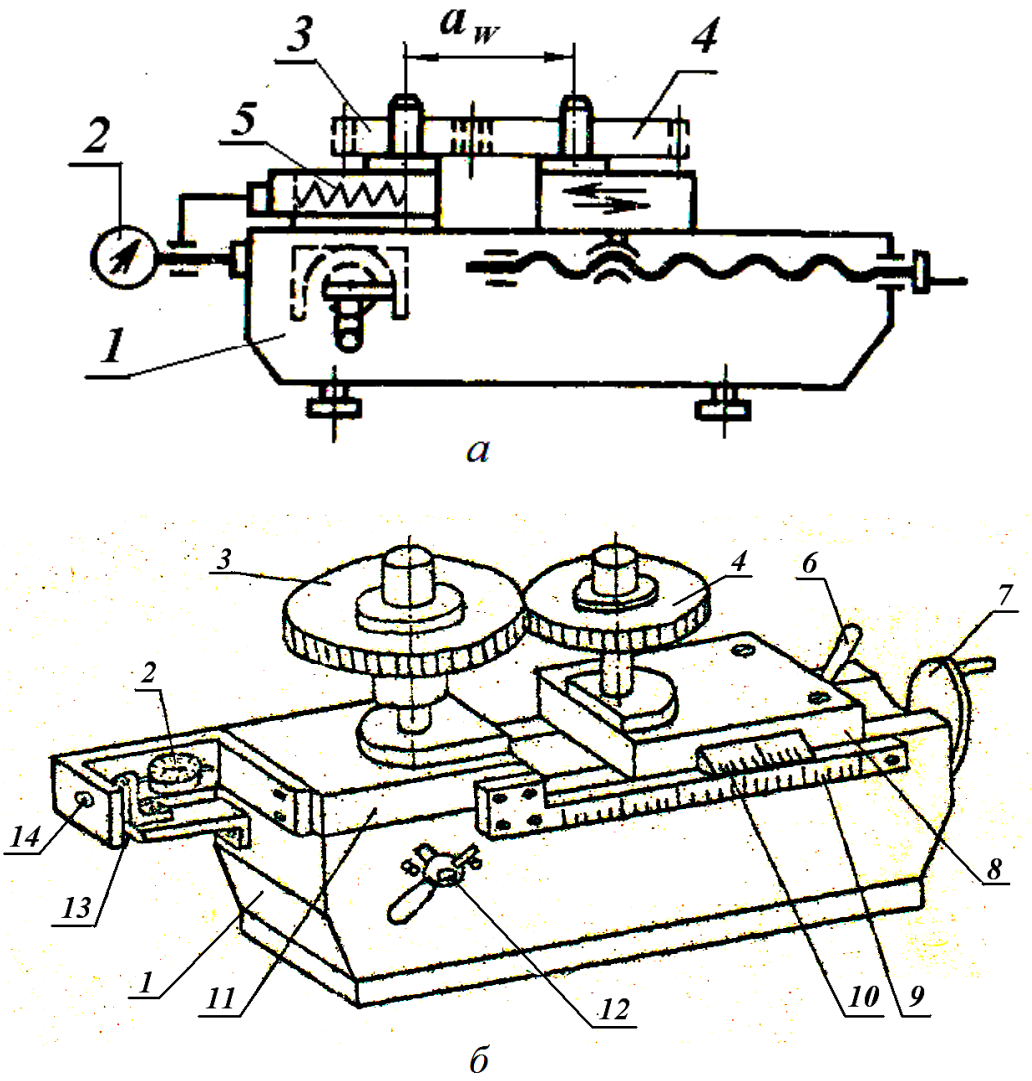


Рис. 10.1. Межцентромер: *а* – схема прибора; *б* – общий вид

Расстояние между центрами оправок прибора может изменяться от 40 до 400 мм (межцентромер МЦ-400В). Модуль проверяемых колес – 1–10 мм. Наибольшая погрешность прибора при измерении – 0,025 мм.

Последовательность настройки и измерений

1. Рассчитать измерительное межосевое расстояние по формуле

$$\alpha_w = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w},$$

где m – модуль колес; $z_1 + z_2$ – числа их зубьев; α – угол профиля исходного контура; α_w – угол зацепления при двухпрофильном контроле.

Угол зацепления α_w рассчитывают по формуле

$$inv\alpha_w = \frac{2x_\Sigma \cdot tg\alpha}{z_1 + z_2},$$

где x_Σ – сумма коэффициентов смещения исходного контура проверяемого колеса $X_к$ и измерительной шестерни X_u, наименьшего дополнительного смещения $E_{Hsк}$ исходного контура проверяемого колеса (*табл. 10* стандарта [6]) и действительного значения $E_{Hsи}$ смещения исходного контура, которое маркируется на торце измерительного колеса, т. е.

$$x_\Sigma = x_и + x_к + {E_{Hsи}}/{m} + {E_{Hsк}}/{m}.$$

Для некорреги́рованного колеса величина коэффициента смещения

$$x = 0, \text{ тогда } x_\Sigma = {E_{Hsи}}/{m} + {E_{Hsк}}/{m}.$$

Значение $inv\alpha$ и α находят по таблицам эвольвентных функций ($inv\ 20° =$ $= 0{,}014\ 904$).

2. Установить плавающий суппорт в исходное левое положение, повернув рукоятку *12* (*рис. 10.1*) по часовой стрелки до упора.

3. Установить индикатор в кронштейне *13* до соприкосновения наконечника с упором *14*. Сделав натяг в 1–2 мм, закрепить индикатор и установить шкалу на нуль.

4. Суппорт *8* маховичком *7* установить по шкале *9* и нониусу *10* на размер a_w (для колес 7–12-й степени точности) и зафиксировать рукояткой *6*. Для колес 5–7-й точности расстояние между центрами оправок установить по блоку концевых мер.

5. Установить на оправки прибора измерительное *3* и проверяемое *4* колеса и поворотом рукоятки *12* по часовой стрелке до упора ввести их в плотное двухпрофильное зацепление.

6. Отметив мелом находящийся в зацеплении зуб проверяемого колеса, плавно поворачивать его рукой и записывать показания индикатора при прохождении зацепления каждым зубом (за полный оборот колеса).

7. Для нахождения предельных отклонений $E_{a''s\,\max}$ и $E_{a''s\,\min}$ определить разность между наибольшим (или соответственно наименьшим) показанием индикатора и нулевым показанием при установке межосевого расстояния.

8. Определить величину колебания измерительного межосевого расстояния колеса F''_{ir} как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора за полный оборот.

9. Определить величину f''_{ir} как наибольшую разность между показаниями индикатора, обнаруженную при последовательном повороте колеса на один зуб.

10. Сделать заключение о годности колеса по величине F'_{ir}, f''_{ir} и $E_{a''s}$, используя стандарт [6] и данные чертежа.

11. Результаты измерений оформить в виде отчета (*приложение Б.9, табл. Б.9.2*).

10.3.2. Измерение величины пятна контакта

а) обезжирить зубья сопрягаемых колес и установить их на соответствующие оправки межцентромера;

б) покрыть тонким слоем краски рабочий профиль зубьев контрольной шестерни при помощи тампона из плотной ткани;

в) установить необходимое межцентровое расстояние a_w и зафиксировать положение суппорта *8* рукояткой *6*;

г) притормаживая контрольную шестерню, плавно вращать рукой измеряемое колесо для получения на нем следов краски;

д) отвести суппорт 8 и снять проверяемое колесо;

е) оценить плотность прилегания профилей зубчатых колес по пятну контакта:

– по длине зуба: $Q = \dfrac{a-c}{b} 100\,\%$;

– по высоте зуба: $q = {h_m}/{h_p}\, 100\,\%$,

где b и h_p – соответственно длина и высота активной части зуба;

a – расстояние между крайними точками следов прилегания по длине зуба;

c – величина разрывов в пятне контакта;

h_m – средняя высота следов прилегания;

ж) оценить годность проверяемого колеса по величине пятна контакта (ГОСТ 1643–81);

з) полученные результаты оформить в отчете (*табл. Б.9.2*).

10.3.3. Контроль радиального биения зубчатого венца

Биение зубчатого венца колеса определяют как отклонение радиального положения измерительного наконечника, последовательно вводимого во впадины зубьев при повороте зубчатого колеса вокруг оси. Измерительный наконечник может иметь форму:

– зуба рейки, выполненной по исходному контуру;

– усеченного конуса с углом при вершине 2α;

– седлообразного наконечника, имеющего профиль впадины зуба рейки;

– сферического наконечника с диаметром ≈ 1,5 мм.

Контроль радиального биения зубчатых колес наружного и внутреннего зацепления осуществляют на специальных приборах – биениемерах, измерительный узел которых (*рис. 10.2*) состоит из штока *4*, смонтированного на шариковых опорах. Шток имеет возвратно-поступательное перемещение в радиальном направлении от оси контролируемого колеса *1*. Перемещение штока фиксируется индикатором *3*. Во время отвода штока зубчатое колесо поворачивается на 1–2 зуба, после чего измерительный наконечник *2* под действием пружины вновь возвращается в профиль впадины. За величину реального биения F_{rr} принимают наибольшую разность показаний прибора в пределах полного оборота, т. е. $F_{rr} = R_{\max} - R_{\min}$ (*рис. 10.2, а*).

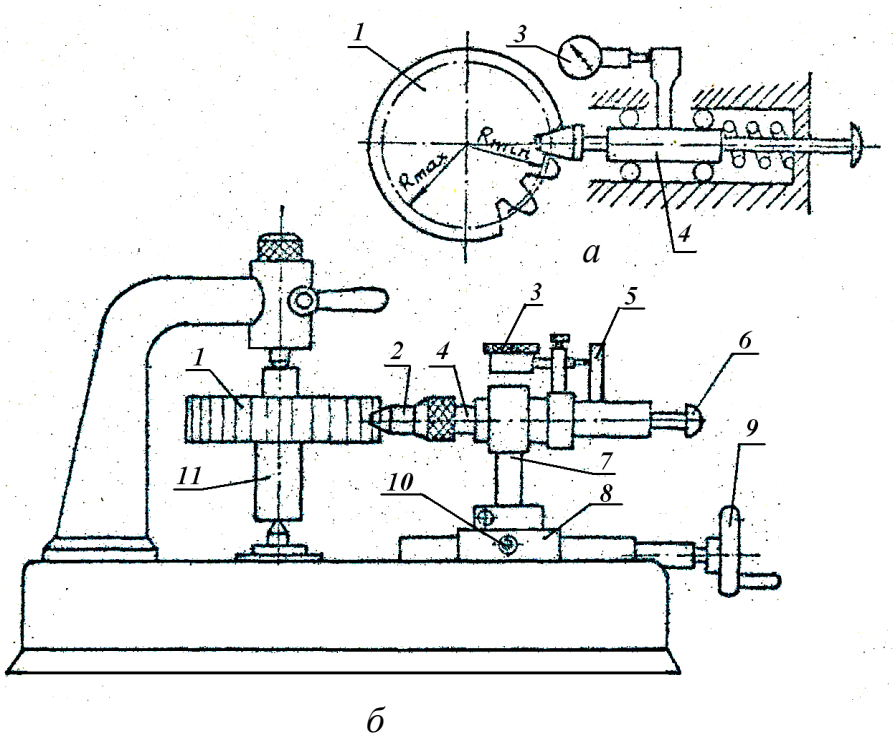


Рис. 10.2. Биениемер: *а* – схема измерения; *б* – общий вид

Последовательность настройки прибора и процесса измерения:

а) протереть зубья проверяемого колеса, центры биениемера и измерительный наконечник соответствующего модуля;

в) вставить измерительный наконечник *2* и индикатор *3* (*рис. 10.2*) в соответствующие держатели стойки *7* суппорта *8* и зафиксировать винтами. Индикатор должен касаться планки *5* с натягом по шкале в 3…4 мм;

г) установить колесо на оправку *11* и закрепить ее в центрах;

д) вращением рукоятки *9* подвести суппорт *8* к проверяемому колесу, введя измерительный наконечник *2* в одну из впадин между зубьями колеса;

е) после соприкосновения наконечника с зубьями, продолжать вращение рукоятки *9* для обеспечения измерительного натяга индикатора в 1,0–1,5 оборота большой стрелки (1,0–1,5 мм);

ж) застопорить суппорт *8* винтом *10*. Вращая шкалу индикатора за наружное рифленое кольцо, совместить ее нулевое деление с концом большой стрелки;

з) проверить нулевую установку прибора. Для этого продольным движением рукоятки 6 несколько раз вывести наконечник из впадины между зубьями и вновь аккуратно, без толчков возвратить его туда;

и) отметить мелом впадину и, оттянув наконечник, повернуть колесо так, чтобы следующая впадина установилась против него. Ввести наконечник в эту впадину и произвести отсчет по индикатору;

к) произвести измерения для всех впадин колеса и определить величину F_{rr}. После окончания измерений отодвинуть измерительный узел от колеса;

л) результаты измерений оформить в виде отчета (*табл. Б.9.2*).

10.3.4. Контроль погрешностей шага

Измерение разности шагов V_{pr}, накопленной погрешности шага F_{pr} и F_{pkr}, колебаний окружного шага f_{ptr} производится с помощью стационарных или накладных шагомеров. По методу измерения шагомеры относят к приборам сравнения, так как в качестве исходной величины для установки прибора используется произвольная пара зубьев, с которой сопоставляются все остальные окружные шаги. Измерительной базой шагомеров может быть окружность выступов или впадин или же посадочное отверстие зубчатого колеса.

*Устройство шагомера 2КШ***.** Прибор состоит из корпуса *1* (*рис. 10.3*), регулируемого движка *5* со стопором 6, подвижного измерительного наконечника *3*, укрепленного на пружинном параллелограмме. Наконечник *3* связан с измерительным стержнем индикатора *2* через угловой рычаг, имеющий соотношение плеч 1:2. В связи с этим цена деления отсчетного индикатора равна не 0,01 мм, а 0,005 мм.

На лицевой стороне корпуса нанесена шкала, по которой производится ориентировочная установка движка на модуль проверяемого колеса. В пазах

корпуса закрепляются переставные опорные ножки *7*. Базирование прибора при измерении производится по окружности выступов и торцу колеса.

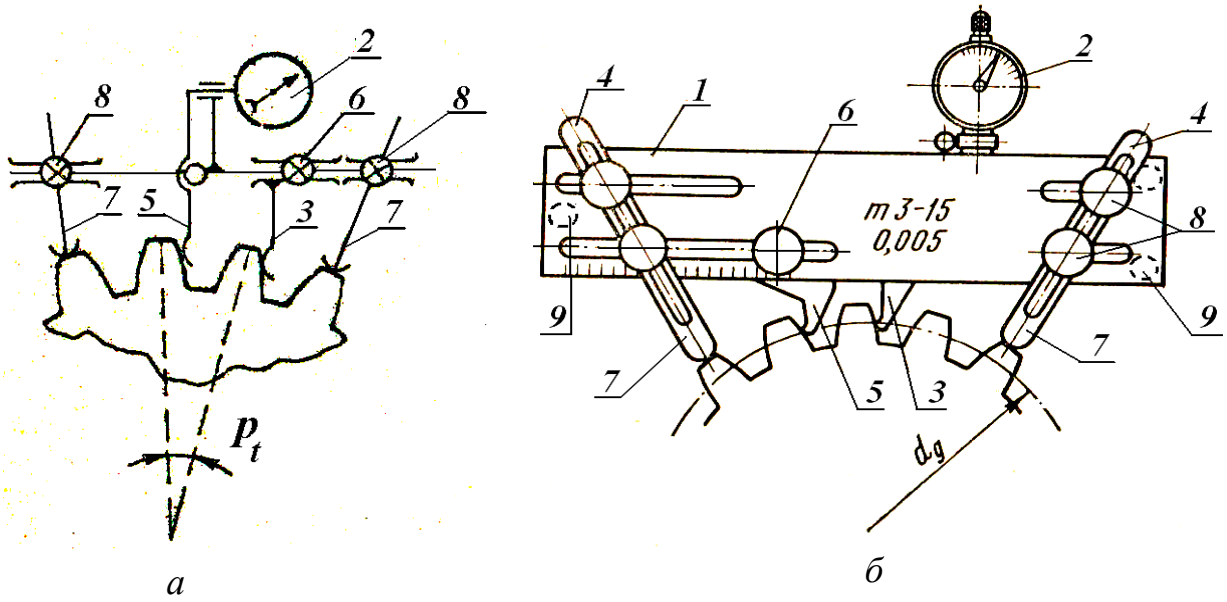


Рис. 10.3. Накладной шагомер ШКД1: *а* – схема измерения; *б* – общий вид

Прибор предназначен для измерения зубчатых колес 7–11-й степени точности модулем от 3 до 15 мм с наименьшей шириной зубчатого венца колеса 24 мм – при измерении от поверочной плиты и 16 мм – при измерении с применением торцовых упоров.

Предельная погрешность измерения прибора составляет 0,01 мм.

Последовательность настройки и измерений:

а) закрепить индикатор в корпусе так, чтобы стрелка находилась примерно в начале второго оборота при левом крайнем положении наконечника *3* (*рис. 10.3*);

б) установить движок *5* по шкале на величину модуля проверяемого колеса и закрепить его винтом 6;

в) установить опорные ножки *7* с учетом ширины зубчатого венца проверяемого колеса:

– если ширина венца менее 24 мм, то опорные ножки поворачивают торцовыми упорами *4* к проверяемому колесу. Настройка и измерение в этом случае производятся в вертикальном положении колеса, базой прибора является окружность вершин зубьев и торец колеса. Для лучшей устойчивости при измерении прибор снабжается третьей опорной ножкой, укрепляемой с его тыльной стороны;

– если ширина венца более 24 мм. Задняя опорная ножка снимается, торцевые упоры *4* ножек поворачиваются в противоположную сторону. А настройка и измерения проводятся на поверочной плите. Колесо в этом случае лежит на своем торце, прибор – на трех опорах *9*, находящихся с тыльной стороны прибора;

г) совместить прибор с измеряемым колесом так, чтобы измерительные поверхности движка *5* и наконечника *3* соприкасались с профилями любой пары зубьев приблизительно на уровне делительной окружности колеса, а опорные ножки *7* закругленной частью прижимались к вершинам зубьев;

д) закрепить ножки *7* винтами *8* и, плотно прижимая прибор к колесу, установить индикатор на нуль. Несколько раз проверить нулевую установку, отодвигая и тщательно прижимая прибору колесу;

е) отметить установочную пару зубьев мелом и произвести измерения для всего колеса, последовательно устанавливая шагомер в каждую впадину и определяя по индикатору разность окружных шагов V_{pr_i} относительно первого (настроечного) шага;

ж) полученные результаты записать во вторую графу *табл. Б.9.4* для последующих вычислений;

з) определить алгебраическую сумму всех отклонений ΣV_{pr_i}, которую разделить на число зубьев колеса; полученная величина с обратным знаком представляет собой погрешность окружного шага первой пары зубьев

$$f_{pt1} = -\frac{\Sigma V_{pri}}{z};$$

и) к отклонениям каждого шага прибавить погрешность первого шага; полученные величины представляют собой погрешности каждого окружного шага колеса

$$f_{pti} = V_{pri} + f_{pt1};$$

к) полученные значения записать в гр. 3 *табл. Б.9.4;*

л) рассчитать накопленную погрешность каждого шага как сумму погрешностей предыдущих шагов, начиная с 1-го, т. е. $\sum_{k=1}^{i} f_{pti}$. Записать полученные значения в гр. 4 *табл. Б.9.4;*

м) определить наибольшую накопленную погрешность шага по колесу F_{pr} как разность между максимальной и минимальной погрешностями шагов:

$$F_{pr} = \sum_{k=1}^{i} f_{ptk\ \text{наиб}} - \sum_{k=1}^{ш} f_{ptk\ \text{наим}};$$

н) результаты работы оформить в виде отчета (*табл. Б.9.4*).

10.3.5. Контроль колебания длины общей нормали

Длиной общей нормали W называют расстояние между двумя параллельными губками, охватывающими касательно два разноименных профиля зубьев. При этом между губками располагается примерно $Z/9$ зубьев.

Контроль длины общей нормали не требует специальной измерительной базы и производится поэтому несложными накладными приборами – зубомерными микрометрами, индикаторными нормалемерами, а для грубых степеней точности – штангенциркулем и предельными скобами. Для этой цели могут быть также использованы станковые универсальные зубоизмерительные приборы с плоскими наконечниками.

Устройство и техническая характеристика индикаторного нормалемера. Прибор представляет собой индикаторную скобу (*рис. 10.4*). Он имеет две губки *1* и *2*. Измерительная губка *1* связана рычажной передачей с соотношением плеч 1:2 с индикатором *8*, который в результате этого имеет цену деления 0,005 мм. Индикатор закрепляется в держателе *3*. Разрезная втулка *5* неподвижной губки в свободном состоянии самозажимается на штанге. Для настройки прибора на необходимый размер ключ *7* вынимается из своего гнезда в трубе *6*, вводится в паз разрезной втулки и при повороте разжимает ее; в этом положении и производится перемещение втулки для установки между губками *1* и *2* расстояния, равного длине общей нормали.

Если измеряется F_{vWr}, прибор настраивается по любой длине нормали колеса, если же измеряется E_{Wms}, то прибор настраивается на расчетное значение длины нормали по блоку плоскопараллельных концевых мер длины.

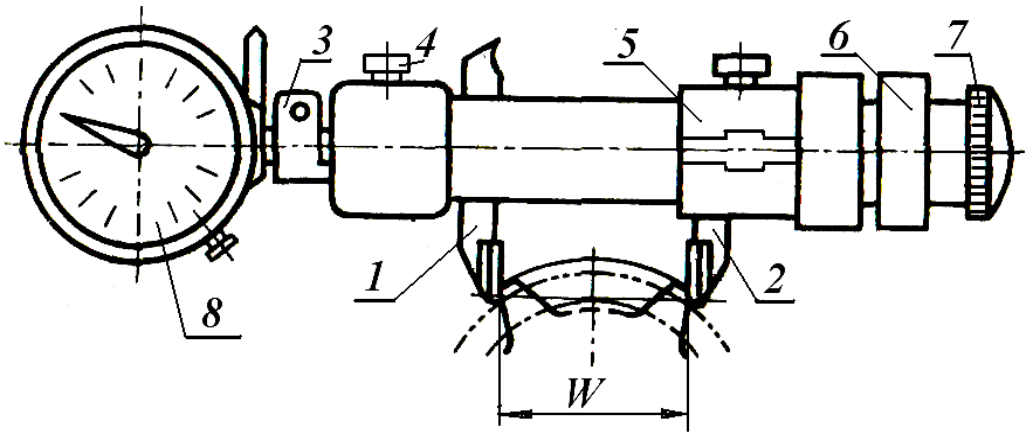


Рис. 10.4. Индикаторный нормалемер

Прибор изготавливается двух размеров: для колес с максимальной длиной общей нормали до 150 или до 300 мм.

Последовательность настройки и измерений:

а) рассчитать теоретическую величину длины общей нормали некорригированного колеса (для $\alpha = 20°$) по формуле

$$W_{\text{ном}} = m \cdot [1{,}476 \cdot (2n - 1) + 0{,}01387 \cdot Z],$$

где m и z – соответственно модуль и число зубьев проверяемого колеса;

n – число зубьев в растворе губок, определенное по формуле $n = \frac{\alpha \cdot z}{180^{\circ}}$ и округленное до ближайшего целого числа;

б) в соответствии с полученным размером W выбрать нормалемер, установить и закрепить индикатор в его державке;

в) охватить губками рассчитанное количество какой-либо группы зубьев и установить индикатор на нуль с натягом в один оборот стрелки. Нажимая на кнопку арретира *4*, проверить нулевое положение индикатора;

г) последовательно перемещая прибор во все впадины, определить колебание длины общей нормали по окружности колеса, записывая показания прибора в *табл. Б.9.5;*

д) во избежание преждевременного износа измерительных поверхностей следует при каждом измерении, в том числе при перемещении вдоль зуба, отводить чувствительную губку с помощью арретира *4;*

е) определить величину колебания длины общей нормали F_{vWr} как алгебраическую разность между наибольшим и наименьшим показаниями прибора;

ж) сравнить полученную величину F_{vWr} с допуском F_{vW} по ГОСТ 1643–81 и сделать заключение о годности колеса;

з) измерить нормалемером (или *зубомерным микрометром*) величину общей нормали первой группы зубьев W_1 и определить величину отклонения средней длины общей нормали E_{Wms} от номинального значения

$$F_{Wms} = W - \left(W_1 + \sum_{i=1}^{k} F_{vWr} \right);$$

и) сделать заключение о годности колеса по величине E_{Wms}, сравнивая ее с предельными значениями $E_{Wms} > E_{Wmк} > E_{Wms} - T_H$,

где E_{Wms} – наименьшее отклонение средней длины общей нормали (выбирается из *табл. 7.16* и *7.17* ГОСТ 1643–81);

T_H – допуск на смещение исходного контура;

к) результаты работы оформить в виде отчета (*табл. Б.9.5*).

10.3.6. Измерение толщины зуба

Толщину зуба измеряют по постоянной хорде $\bar{s}_C$, которая лежит над делительной окружностью на расчетной глубине $\bar{h}_C$ (*рис. 10.5*).

Этот способ измерения толщины зуба не обладает каким-либо преимуществом по сравнению с измерением смещения исходного контура (см. п. 10.3.8). Приборы для измерения толщины зуба рекомендуется применять и при измерении толщины витка червяков, реек и для лекальных работ. В принципе, они представляют собой двухкоординарные устройства.

Наиболее распространенным прибором является штангензубомер, сочетающий в себе штангенциркуль *7* и штангенглубиномер *1* (*рис. 10.5*). При этом толщину зуба $\bar{s}_C$ измеряют как обычным штангенциркулем, а глубину $\bar{h}_C$ устанавливают посредством упора *4*, перемещающегося вместе с рамкой по штанге глубиномера.

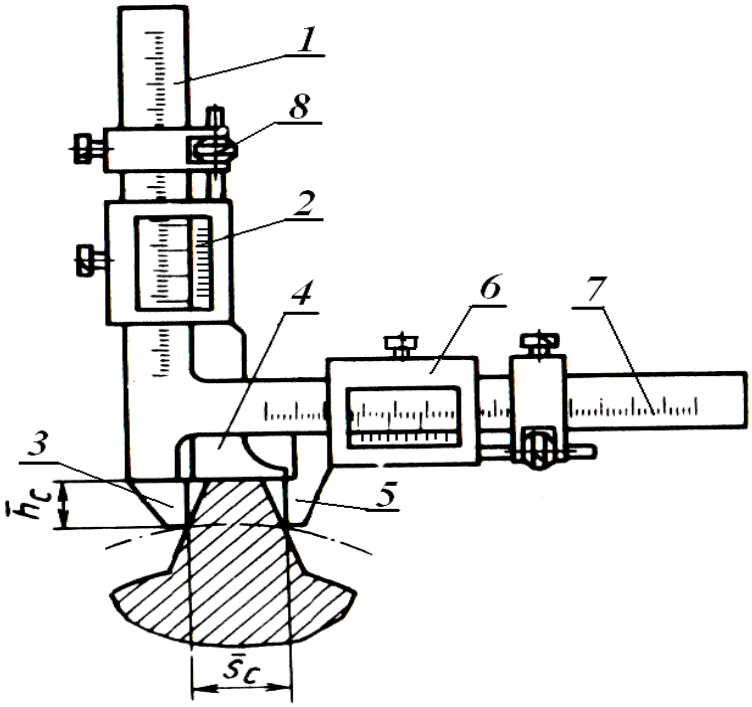


Рис.10.5. Измерение толщины зуба штангензубомером

Применяемые типы накладных приборов: ШЗ-18 и ШЗ-36 с диапазонами модулей m = 1–18 мм и m = 5–36 мм соответственно. Цена деления приборов 0,05 мм, предел допускаемой погрешности 50 мкм.

Последовательность измерений на приборе:

а) рассчитать номинальную толщину зуба $\bar{s}_C$ по постоянной хорде и глубину h_c установки штангенглубиномера. Для нормального (некоррегированного) колеса при угле исходного контура α = 20° для расчетов можно использовать следующие зависимости: $\bar{S}_c = 1{,}387\, m$; $\bar{h}_c = 0{,}7476\, m$;

б) установить подвижную губку штангенглубиномера по нониусу *2* (*рис. 10.5*) на рассчитанную величину $\bar{h}_C$, используя устройство *8* точной установки;

в) установить штангензубомер на зуб проверяемого колеса и переместить подвижную губку *5* штангенциркуля прибора вплотную к профилю зуба, зажимая зуб между губками *3* и *5;*

г) используя шкалу линейки *7* и нониус *6*, определить фактическую величину толщины $\bar{S}_{cr}$ зуба;

д) аналогично измерить толщину $\bar{S}_{cr_i}$ нескольких (3–5) зубьев, равностоящих друг от друга по венцу колеса;

е) сделать заключение о годности колеса по толщине зуба

$$\bar{S}_C - E_{cs} \geq \bar{S}_{cr_i} \geq \bar{S}_C - E_{cs} - T_c ,$$

где E_{cs} – наименьшее отклонение толщины зуба по ГОСТ 1643–81;

T_c – допуск на толщину зуба по ГОСТ 1643–81.

ж) результаты измерений оформить в виде отчета (*табл. Б.9.6*).

10.3.7. Контроль шага зацепления (основного)

Измерение шага зацепления P_b можно производить с помощью станковых универсальных зубоизмерительных приборов или накладными шагомерами, более простыми по конструкции и в обращении.

Принцип работы накладного шагомера состоит в том, что прибор, предварительно настроенный по блоку концевых мер на номинальный шаг P_b контролируемого колеса, накладывается на зубчатое колесо (*рис. 10.6, б*) и устанавливается так, чтобы плоскость наконечника *2* плотно прилегала к профилю какого-либо зуба. Опорный наконечник *7* прибора, поддерживающий шагомер в процессе измерения, может перемещаться в продольном направлении для обеспечения правильного положения измерительных наконечников *2* и *3* при измерении (по нормали к поверхности зубьев). При измерении шагомер покачивают относительно колеса, определяя наименьшее отклонение стрелки индикатора *14* (*рис. 10.6, б*) от исходного при настройке. Эта величина и является действительным отклонением шага зацепления f_{pbr}.

Устройство шагомера для основного шага. Шагомер состоит из корпуса *1* (*рис. 10.6, а, б*) с неподвижным *2* и подвижным *3* измерительными наконечниками. Наконечник *3* прикреплен на пружинной подвеске к планке *5*, которая вместе с губкой перемещается гайкой *4* и закрепляется винтами *6*. Опорный наконечник *7* устанавливается в необходимое положение гайкой *8*. Прибор настраивается на необходимый размер по блоку плоскопараллельных концевых мер, который устанавливается в специальную рамку *9* между двумя боровичками *10* и *12*.

Пределы измерения прибора по модулю – от 2 до 10 мм, цена деления индикатора – 0,002 мм, предельная погрешность измерения составляет ± 0,005 мм.

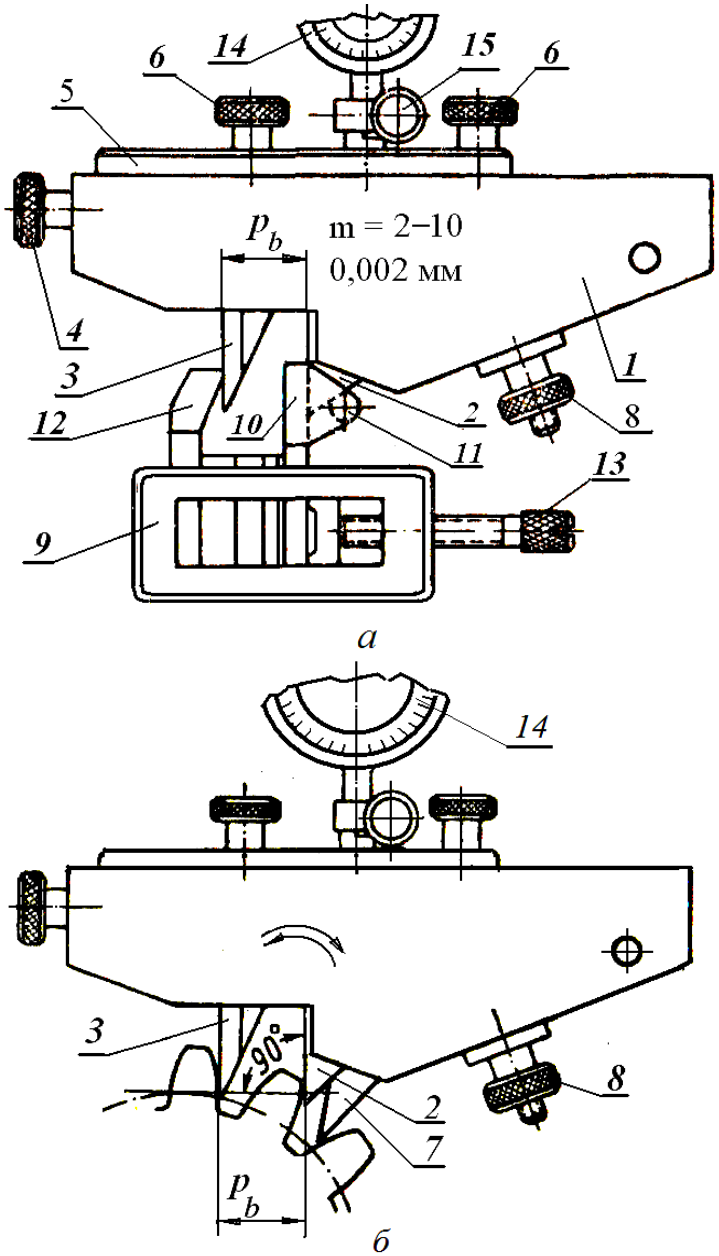


Рис. 10.6. Шагомер для контроля щага зацепления:
а – настройка прибора; *б* – измерение колеса

Последовательность настройки и измерений:

а) набрать блок концевых мер, равный величине шага зацепления колеса $p_b = m \cdot \pi \cdot \cos \alpha_o$ (при $\alpha_o = 20°$, $p_b = 2{,}952\ 1m$), установить его в рамку *9* между боковичками и закрепить винтом *13* (*рис. 10.6, а*);

б) установить в прибор индикатор *14* с натягом в 1 мм и закрепить его стопорным винтом *15*;

б) вращением гайки *8* совместить наконечник *7* с неподвижным наконечником *2;*

в) освободить планку *5*, отстопорив винты *6*, и винтом *4* установить наконечник *3* приблизительно на требуемый размер;

г) установить прибор в рамку, поместив наконечник *2* между роликом *11* и боковичком *10*, а наконечник *3* подвести вплотную к боковичку *12* (*рис. 10.6, а*) и дать индикатору натяг еще в 1 мм;

д) закрепить планку винтами *6* и установить индикатор на нуль. Проверить настройку прибора путем неоднократной переустановки его в рамке *9*;

е) установить настроенный прибор на колесо и вращением гайки *8* выдвинуть наконечник *7* так, чтобы он обеспечивал плотное прилегание наконечника *2* к профилю зуба (*рис. 10.6, б*);

ж) прижимая прибор к зубьям и одновременно обкатывая его вокруг колеса, следить за показаниями индикатора. Прибор показывает величину отклонения шага зацепления f_{pbr} от номинального f_{pb} в тот момент, когда его перемещение не вызывает отклонений стрелки индикатора. Произвести измерения для трех равностоящих по окружности колеса зубьев;

з) результаты измерений оформить в виде отчета (*табл. Б.9.7*).

10.3.8. Контроль величины смещения исходного контура

Для создания в зубчатой передаче наименьшего (гарантированного) зазора зубья колеса изготавливают тоньше по сравнению с расчетной величиной за счет смещения исходного контура рейки зуборезного инструмента. Смещение исходного контура нормируется в стандарте [6] двумя величинами: наименьшим дополнительным смещением исходного контура ($-E_{Hs}$) для зубчатых колес с внешними зубьями и допуском на смещение исходного контура (T_H).

Основным прибором для этих измерений является накладной прибор – зубомер смещения, более известный под названием *тангенциальный зубомер*.

Тангенциальный зубомер (*рис. 10.7, б*) состоит из корпуса *1* с симметрично расположенными измерительными губками *2* и *3*, перемещающимися винтом *4* с правой и левой резьбой. Плоскости губок *2* и *3* наклонены под углом 20° и воспроизводят совместно с касательной *bb* (*рис. 10.7, а*) к окружности выступов номинальный исходный контур зубчатой рейки. Губки фиксируются в требуемом положении винтами *5*. В середине корпуса между губок закрепляется индикатор 6 с удлиненным измерительным стержнем 9.

Измерительные губки устанавливают в исходное положение по роликам, прилагаемым к прибору. Размер ролика выбирают в соответствии с модулем измеряемого колеса. Модуль выгравирован на ролике.

Последовательность настройки и измерений:

а) подобрать ролик *7* (*рис. 10.7, б*) соответствующего модуля и уложить его на призматическую подставку *8*;

б) установить зубомер на ролик и отстопорить винты *5*, затем вращением винта *4* отрегулировать касание измерительных губок с роликом несколько выше середины опорных поверхностей губок и по всей их ширине (*рис.10.7, б*); в этом положении губки застопорить винтами *5;*

в) установить и закрепить индикатор в приборе с натягом при касании о ролик 1–2 мм; затем установить индикатор на нуль и проверить стабильность показаний прибора;

г) установить прибор на зуб (*рис. 10.7, а*) и, покачивая его вокруг оси колеса, определить наибольшую величину показаний индикатора, которая представляет собой дополнительное смещение исходного контура E_{Hr} от номинального положения. Смещение стрелки индикатора в процессе измерения вправо от нуля (в «плюс») указывает на уменьшение толщины проверяемого зуба; смещение стрелки в «минус» указывает на увеличение толщины зуба;

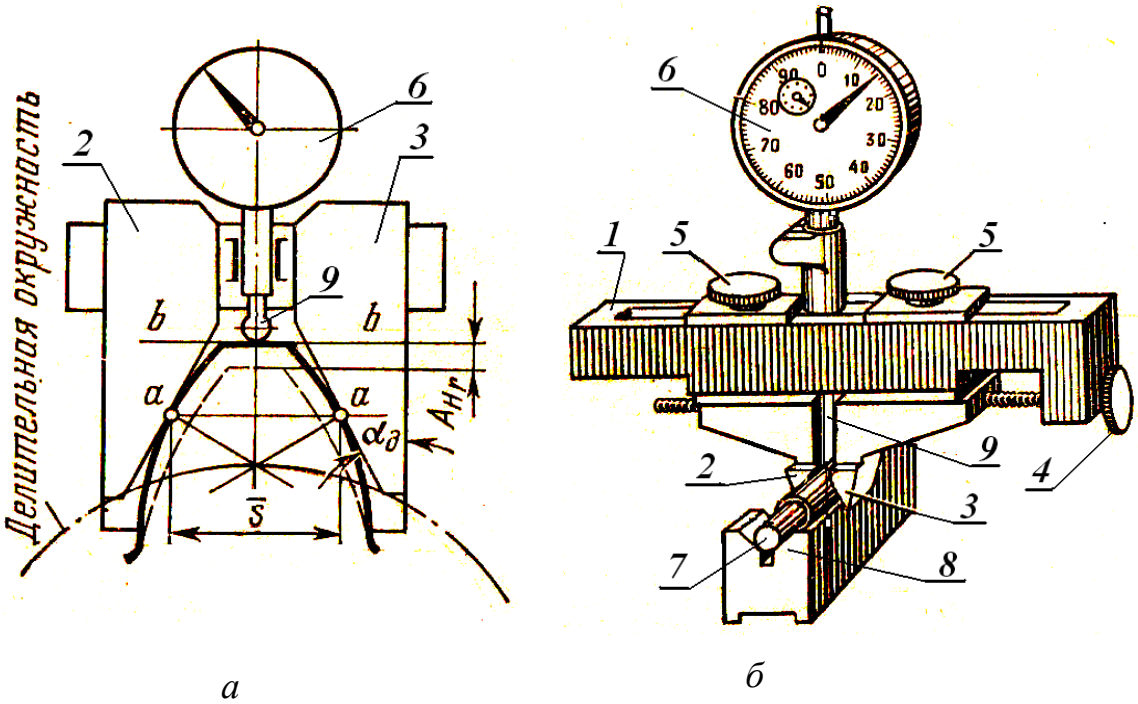


Рис. 10.7. Тангенциальный зубомер:
а – схема измерения; *б* – общий вид прибора при настройке по эталону

д) произвести измерения для всех зубьев колеса и сделать заключение о годности: $E_{Hs} \leq E_{Hr\,min} \leq E_{Hs} - T_H$ (величину E_{Hs} и T_H взять по ГОСТ 1643–81);

е) определить коэффициент смещения исходного контура X, разделив показанную прибором среднюю величину смещения $(x \cdot m)_{ср}$ на модуль m, т. е.

$$X = \frac{(x \cdot m)_{ср}}{m};$$

ж) сравнить полученное значение X с требуемым по чертежу;

з) результаты измерений оформить в виде отчета (*табл. Б.9.8*).

Контрольные вопросы

1. Перечислите принципы нормирования и группы норм точности зубчатых колес и передач.

2. Какие показатели и комплексы показателей характеризуют кинематическую точность?

3. Что такое накопленная погрешность шага? Объясните принцип ее измерения.

4. Что такое колебание длины общей нормали? Каков принцип ее измерения?

5. Какова сущность измерения радиального биения зубчатого венца?

6. Перечислите показатели и их комплексы, характеризующие плавность работы.

7. Объясните принцип измерения шага зацепления и окружного шага.

8. Какие показатели и их комплексы характеризуют полноту контакта?

9. Перечислите показатели, характеризующие боковой зазор.

10. Что такое смещение исходного контура и каковы способы его измерения?

11. Объясните сущность измерения толщины зуба штангензубомером.

11. ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

Любое измерение в технике выполняется с некоторой погрешностью, которая искажает результат измерения и дает возможность установить лишь приближенное значение измеряемой величины. Источником появления погрешностей измерения может быть само средство измерений (инструментальные погрешности измерений), метод измерения (методические погрешности) и оператор (субъективные погрешности). В зависимости от условий измерительного процесса в различных группах средств измерений могут проявляться те или иные погрешности измерений.

Выбор средств измерений (далее СИ) определяется с учетом метрологических характеристик инструментов и приборов, их эксплуатационных и экономических показателей, конструктивных особенностей и точности изготовления контролируемых деталей.

В производственных условиях наибольшее значение имеют ***метрологические характеристики СИ***, такие как класс точности, диапазон измерений; диапазон показаний; погрешность СИ. В частности, излишняя точность выбранного прибора повышает стоимость контроля качества и удорожание изделия. Недостаточная точность измерений может привести к выбраковке части годных изделий или, наоборот, к принятию бракованных изделий как годные.

Правильно выбранное средство измерений должно иметь основные метрологические характеристики, соответствующие трем условиям:

– диапазон измерения должен быть больше измеряемого размера;

– диапазон показаний отсчетного устройства должен превышать допуск IT измеряемого размера;

– предельная погрешность измерения выбранного средства измерений должна быть меньше допускаемой погрешности измерения δ.

К ***эксплуатационным показателям*** относится главным образом надежность СИ – сохранение их нормируемых метрологических характеристик в период эксплуатации, хранения или транспортирования.

Основными экономическими показателями являются стоимость СИ; продолжительность их работы до повторной установки или ремонта; производительность (время на настройку и процесс измерения); необходимая квалификация оператора. На основе этих показателей выбирают конкретное средство измерений путем сравнения всех измерительных средств, применение которых возможно в данном случае; из всех имеющихся вариантов выбирают наиболее производительный, дешевый и простой в эксплуатации прибор.

На выбор средств измерений существенно влияет *тип производства*.

В массовом и крупносерийном производстве применяют механизированные и автоматизированные средства измерений и контроля, специальные контрольные приспособления и жесткие предельные калибры. Универсальные средства измерений применяют в основном для наладки оборудования.

В *серийном производстве* используют специальные контрольные приспособления, жесткие предельные калибры и шаблоны, иногда – универсальные средства измерений.

В мелкосерийном и единичном производстве используют главным образом универсальные средства измерений, регулируемые калибры (скобы). Они находят применение в пооперационном контроле различных геометрических параметров деталей непосредственно, либо в сочетании с различными дополнительными приспособлениями (предметными столиками, плитами, стойками, штативами и др.).

11.1. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров

Главным фактором, определяющим выбор СИ, является *допускаемая погрешность измерения* $\delta_{изм}$, в которую входят все случайные и неучтенные систематические погрешности измерения, зависящие от измерительных средств, их положения относительно контролируемой детали, температурных деформаций и др. Значения допускаемых погрешностей измерения $\delta_{изм}$ определены стандартом [2] в зависимости от номинальных размеров и допусков измеряемых изделий для квалитетов IT 2...17. Установлены следующие значения $\delta_{изм}$: для IT10...IT17 — 0,2T (T – допуск размера); для IT6...IT9 — 0,3T, для IT2...IT5 — 0,35T.

Для проведения измерений с погрешностями, не превышающими допускаемые стандартом [2] значения, необходимо иметь сведения о *предельных по-*

грешностях измерения универсальными измерительными средствами $\Delta_{си}$, серийно выпускаемыми специализированными заводами. Такие данные можно найти в специальных таблицах (*табл. В.2* и *В.3*), [19, *табл.1, 16–18*], [28, *табл. I* и *II*], [29, *табл. А.27* и *А.28*]. В первой таблице приведены сведения о погрешностях измерения универсальными измерительными средствами наружных линейных размеров, биений и глубин, а в следующей – сведения о предельных погрешностях измерения внутренних линейных размеров.

В таблицах указаны *абсолютные значения* предельных погрешностей измерений без знаков ±, т. е. даны предельные значения, на которые результаты измерения могут отличаться от истинного значения измеряемой величины.

При выборе средства измерения вначале необходимо определить величину *допускаемой погрешности измерения* $\delta_{изм}$ по ГОСТ 8.051–81 для заданного размера. Если *предельная погрешность средства измерения* $\Delta_{си}$ не превышает допускаемой погрешности измерения для заданного размера, то такое средство измерения можно быть применено.

Таким образом, для выбора конкретного средства измерений необходимо выполнить следующие действия:

1. Определить величину допуска размера в микрометрах.

2. Найти величину *допускаемой погрешности измерения* $\delta_{изм}$ для заданного размера и квалитета (*табл. В.1*) или [2], [19], [28], [29].

3. Выбрать универсальные средства измерения по таблицам предельных погрешностей средств измерений (*табл. В.2* и *В.3*) или [19], [28], [29] и выписать величину *предельной погрешности* $\Delta_{си}$ *каждого средства измерения*.

4. Сопоставить величины предельной погрешности средств измерения и допускаемой погрешности измерения. При этом должно выполняться условие, при котором погрешность средства измерения меньше допускаемой погрешности измерения: $\Delta_{си} \leq \delta_{изм}$.

5. *Из нескольких средств измерений*, удовлетворяющих условию п. 4, следует выбрать такое, которое характеризуется простотой обслуживания, наибольшей производительностью, надежностью и наименьшей стоимостью.

Например, при выборе измерительного средства для измерения шейки коленчатого вала Ø90*g*6 (-0,012/-0,034) с допуском на изготовление $T_р$ = 22 мкм находим $\delta_{изм}$ = 6 мкм. Для измерения этого диаметра удобно применять не стационарный (оптиметр, микрокатор или индикатор на стойке), а переносный прибор (индикаторная скоба, микрометр или рычажная скоба). По справочным таблицам (*табл. В.2* и *В.3*) или [19], [28], [29] определяем, что самый точный микрометр имеет предельную погрешность измерения $\Delta_{си}$ = 7 мкм и не может применяться для данной измерительной операции, тогда как рычажная скоба с $\Delta_{си}$ = 4,5 мкм обеспечивает необходимую точность измерения.

Для упрощения процесса выбора конкретных измерительных средств в рекомендациях [28] представлены табл. V–IX. В них номерами и буквами из

табл. I и II указаны комплексы измерительных средств и варианты их применения в зависимости от номинальных размеров, допускаемых погрешностей измерений и допуска на изготовление детали.

В выборе измерительных средств должны участвовать конструкторская, технологическая и метрологическая службы.

Конструкторская служба участвует в выборе метрологических средств обоснованным назначением допускаемых отклонений на размер детали. При этом конструктор должен установить возможное количество неправильно принимаемых деталей и возможный выход размера этих деталей за границы допуска (таблица приложения 2 к стандарту [2]).

В обязанности *технологической службы* входит выбор и применение конкретных средств измерений в целях обеспечения наиболее экономичных технологических процессов. Для оценки технологического процесса технолог должен знать возможное количество действительного и ложного брака.

Метрологическая служба оценивает правильность выбора средств измерений нормативным положениям и устанавливает условия их использования на производстве.

11.2. Примеры решения задач по выбору универсальных средств измерения линейных размеров

Задача 1

Вал длиной l = 220 h12 необходимо измерить универсальным средством измерения с учетом допускаемой погрешности измерения. Какое средство измерения можно использовать?

Решение

1. Определяем допускаемую погрешность измерения $\delta_{изм}$ по *табл. В.1* или [2], [29].

Для размера 220 h12 величина допуска составляет 520 мкм, соответствующая ему величина $\delta_{изм}$ = 120 мкм. Необходимо средство измерения с погрешностью не более 120 мкм.

2. Выбираем универсальное средство измерения для контроля шейки вала по *табл. В.2* или [19], [28], [29] при соблюдении условия $\Delta_{си} < \delta_{изм}$.

Данному условию соответствует штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,05 мм и предельной погрешностью 100 мкм (*табл. В.2*).

В результате имеем $\Delta_{си}$ = 100 мкм < $\delta_{изм}$ = 120 мкм.

Выбранное средство измерений удовлетворяет поставленному условию.

Другие средства измерений, представленные в *табл. В.2* и удовлетворяющие поставленным требованиям, не рекомендуется применять по технико-экономическим соображениям.

Задача 2

В механическом цехе производится обработка одного вала.

Требуется выбрать универсальное средство измерения одной из шеек вала Ø 65*g*6 с учетом допускаемой погрешности измерения.

Решение

1. Определяем допускаемую погрешность измерения $\delta_{изм}$ по *табл. В.1* или [2], [29].

Для размера Ø 65*g*6 величина допуска составляет 19 мкм, соответствующая ему величина $\delta_{изм}$ = 5 мкм. Необходимо средство измерения с погрешностью не более 5 мкм.

2. Выбираем универсальное средство измерения для контроля шейки вала по *табл. В.2* или [19], [28], [29] при соблюдении требования $\Delta_{си} < \delta_{изм}$.

Данному условию соответствуют:

- скоба рычажная с ценой деления 0,002 мм и предельной погрешностью $\Delta_{си}$ = 3 мкм при настройке по концевым мерам 2-го класса;
- головка пружинная (микрокатор) с ценой деления 0,002 мм и предельной погрешностью $\Delta_{си}$ = 2 мкм при настройке по концевым мерам 2-го класса).

В результате имеем $\Delta_{си}$ = 3 мкм (или 2 мкм) < $\delta_{изм}$ = 5 мкм.

Выбранные средства измерения удовлетворяет поставленному условию.

Задача 3

Необходимо проконтролировать точность отверстия Ø 125 Н7 в корпусе редуктора после его ремонта. Какое универсальное средство измерения можно использовать для этой цели?

Решение

1. Определяем допускаемую погрешность измерения $\delta_{изм}$ по *табл. В.1* или [2], [29].

Для размера Ø 125 Н7 величина допуска составляет 40 мкм, соответствующая ему величина $\delta_{изм}$ = 12 мкм. Необходимо средство измерения с погрешностью не более 12 мкм.

2. Выбираем универсальное средство измерения для контроля отверстия в корпусе по *табл. В.3* или [19], [28], [29] при соблюдении условия $\Delta_{си} < \delta_{изм}$.

Данному условию соответствует нутромер индикаторный (НИ) с отсчетной головкой (цена деления 0,01мм) при установке его по концевым мерам 3-го класса точности и предельной погрешностью 10 мкм. В результате имеем $\Delta_{си}$ = 10 мкм < $\delta_{изм}$ = 12 мкм.

Выбранное средство измерений удовлетворяет поставленному условию.

Другие средства измерений отверстий, представленные в справочных таблицах (*табл. В.3*) или [19], [28], [29], не удовлетворяют поставленным требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретические сведения, представленные в пособии, позволяют студентам усовершенствовать теоретические знания в области метрологического обеспечения производства, ознакомиться с эксплуатационными и метрологическими характеристиками универсальных и некоторых специальных измерительных приборов, широко применяемых в промышленности. Практические рекомендации способствуют привитию умений обоснованного выбора и применения универсальных средств измерений для контроля параметров точности и качества деталей, получению навыков работы с различными измерительными приборами.

Пособие предназначено для самостоятельной работы, проведения практических и лабораторных занятий, курсового и дипломного проектирования, выполнения индивидуальных заданий студентами.

Библиографический список

1. Аристов, А. И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студентов высш. учеб. заведений / А. И. Аристов, Л. И. Карпов, В. М. Приходько, Т. М. Раковщик. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 384 с.

2. ГОСТ 8.051–81 ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – Введ. с 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1987.

3. ГОСТ 8.057–80 ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения. Введ. 1981.01.01. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

4. ГОСТ 166–89 (ИСО 3599–76). Штангенциркули. Технические условия. Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1989.

5. ГОСТ 577–68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – Введ. с 01.07.68. – М.: ИПК. Изд-во стандартов, 1987.

6. ГОСТ 1643–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – Введ. с 30.06.81. – М.: ИПК. Изд-во стандартов, 2003.

7. ГОСТ 2534–77. Калибры предельные для глубин и высот уступов. Допуски. – Введ. с 01.07.78. – М.: ИПК. Изд-во стандартов, 2003.

8. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Введ. с 01.01.75. – М.: Стандартинформ, 2006.

9. ГОСТ 2875–88. Меры плоского угла призматические. Общие технические условия. Введ. 01.01.89. – М.: Изд-во стандартов, 1988.

10. ГОСТ 6507–90. Микрометры. Технические условия.– Введ. с 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. Стандартинформ, 2006.

11. ГОСТ 9038–90. Меры длины плоскопараллельные. Технические условия. – Введ. с 01.07.91. – М.: Стандартинформ, 2004.

12. ГОСТ 9378–93. Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия. – Введ. с 01.01.971. – М.: Стандартинформ, 2002.

13. ГОСТ 21401–75. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Исполнительные размеры. – Введ. с 01.01.77. – М.: Изд-во стандартов, 1992.

14. ГОСТ 24705–2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры. – Введ. с 01.01.82. – М.: Стандартинформ, 2005.

15. ГОСТ 24851–81. Калибры гладкие для цилиндрических отверстий и валов. Виды. – Введ. с 01.01.1982. – М.: ИПК. Изд-во стандартов, 2003.

16. ГОСТ 24853–81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски. – Введ. с 01.01.1983. Переиздание. – М.: ИПК. Изд-во стандартов, 2003.

17. ГОСТ 25346–2013 (ИСО 286–1:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуск, отклонения и посадки. – Введ. с 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2014.

18. ГОСТ 25347–2013 (ИСО 286–2:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельных отклонений отверстий и валов. – Введ. с 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2014.

19. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении. Справочник: в 2 т. Т 1: Допуски и посадки. – 263 с.; Т 2: Контроль деталей. – 208 с. – М.: Изд-во стандартов, 1989.

20. Марков, Н. Н. Взаимозаменяемость и технические измерения: учебник / Н. Н. Марков. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 288 с.

21. Марков, А. А. Измерение зубчатых колес / А. А. Марков. – Л.: Машиностроение, 1977. – 280 с.

22. Медовой, И. А. Исполнительные размеры калибров: в 2 кн. Кн. 1 / И. А. Медовой, Я. Г. Уманский, Н. М. Журавлев. – М.: Машиностроение, 1980. – 384 с.

23. Методические указания по внедрению ГОСТ 1643–81. – М.: Изд-во стандартов, 1981.

24. Метрология: учебник / А. А. Брюховец [и др.]; под общ ред. С. А. Зай-цева. – М.: Форум, 2011. – 464 с.

25. МИ 1604–87. ГСИ. Меры длины конные. Общие требования к методам поверки. – Введ. с 01.07.1988. – М.: Изд-во стандартов, 1988.

26. МИ 1758–87. Меры плоского угла призматические. Методика поверки. – Введ. с 01.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1988.

27. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация. [Текст] / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе. – М.: Юрайт, 2012. – 816 с.

28. РД 50-98-86. Руководящий нормативный документ «Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051–81)». – М.: Изд-во стандартов, 1987.

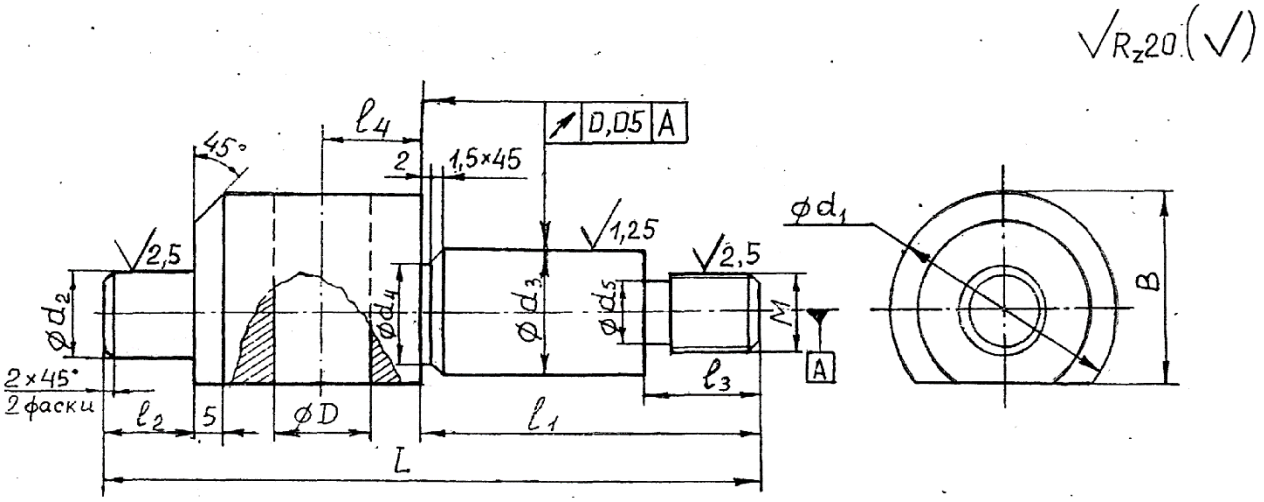
29. Соколов, В. П. Взаимозаменяемость и контроль деталей. Гладкие цилиндрические и резьбовые сопряжения: учеб. пособие / В. П. Соколов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ФГБОУВПО «СПГУТД», 2012. – 142 с.

30. Стандарт ИСО 3650:1998. Геометрические характеристики изделий (GPS). Эталоны длины. Эталонные блоки. ISO/TC213. Дата публикации 1999.12. Подтвержден 2014.01.01.

31. Шляхтер, Л. М. Взаимозаменяемость, метрология, стандартизация на предприятиях бытового обслуживания: учеб. для вузов / Л. М. Шляхтер. – М.: Легпромбытиздат. 1990. – 288 с.

Приложение А

Эскиз контролируемой детали



Номер детали и ее индекс	Размеры детали											
	L	***l₁***	***l₂***	***l₃***	***B***	***D***	***d₁***	***d₂***	***d₃***	***d₄***	***d₅***	***M***
1 •	115±0,2	$50_{-0,2}$	$15_{-0,2}$	12±0,4	42±0,5	16 *H*12	(46,2; 47,2; 48,5) *s*9	16 *m*9	18 *g*8	$16,5_{-0,2}$	$10_{-0,5}$	M12-8*g*
2 ••	130±0,2	$65_{-0,2}$	$15_{-0,2}$	16±0,4	39±0,5	18 *H*12	(42,0; 44,0) j_s9	14 *m*9	20 *g*8	$18,5_{-0,2}$	$12_{-0,5}$	M14-8*g*
3 •••	135±0,2	$70_{-0,2}$	$18_{-0,2}$	18±0,4	39±0,5	20 *H*12	49 *h*10	18 *m*9	22 *g*8	$20,5_{-0,2}$	$14_{-0,5}$	M16-8*g*

Приложение Б.1

Отчет по работе. **Контроль детали универсальным измерительным инструментом**

Название и тип инструмента, ГОСТ	Класс точности	Точность отсчета (цена деления), мм	Диапазон измерений, мм	Погрешность измерений, мм

Условное обозначение размера	Номинальный размер и предельные отклонения	Предельные размеры, мм		Результаты измерения, мм		Заключение о годности	
		наибольший	наименьший	штангенциркулем	микрометром	Ш/Ц	МК
L							
l_1							
l_2							
l_3							
B							
D							
d_1							
d_2							
d_3							
d_4							
d_5							
M							

СПбГУПТД Кафедра	Дата выполнения	Фамилия, и., о. студента	Группа	Дата и подпись преподавателя
.....				

Ответы на контрольные вопросы:.....

Приложение Б.2

Отчет по работе. **Плоскопараллельные концевые меры длины. Угловые меры**

Назначение и область применения концевых и угловых мер
Метрологическая характеристика применяемого набора мер (класс, разряд, градация, ….)

Суммарный размер блока		Размеры мер в блоке					Рассчитанная погрешность блока	
		1-я	2-я	3-я	4-я	…	наибольшая $\Delta_{наиб}$	вероятная Δ_{Σ}
№1								
№2								
№3								

Контроль партии деталей рычажной скобой (рычажным микрометром)

Метрологическая характеристика настраиваемой рычажной скобы (рычажного микрометра) Цена деления отсчетного устройства……..мм; диапазон показаний шкалы……...мм; пределы измерения…….....мм; погрешность измерения…… …мм
Результаты измерения детали рычажным микрометром

Номинальный размер и предельные отклонения	Предельные размеры деталей по ГОСТ 25347–2013		Размер блока В для настройки прибора, мм	Показания прибора Δ со знаком, (среднее из 3-х измерений), мм	Действительный размер детали, мм	Заключение о годности детали
	наибольший	наименьший				
Ø ……						
или						
L …….						

СПбГУПТД Кафедра	Фамилия, и., о. студента и группа	Дата выполнения	Подпись преподавателя и дата приемки отчета

Ответы на контрольные вопросы: …….....

Приложение Б.3

Отчет по работе. **Контроль формы и расположения поверхностей**

Метрологические характеристики применяемых приборов					
Название и тип (обозначение) прибора	ГОСТ	Точность отсчета (цена деления), мм	Диапазон показаний шкалы, мм	Диапазон измерений прибора в целом, мм	Погрешность измерения, мм
Измерительная головка……					
Индикаторный нутромер ……..					
Биениемер……					

Условное обозначение размера	Обозначение номинального размера и поля допуска на чертеже	Размер блока В, для настройки прибора, мм	Показания прибора при измерении Δ, мм (со знаком +/-)					
			в сечениях перпендикулярно оси					
			1		2		3	
			в направлениях вдоль оси					
			I	II	I	II	I	II
d								
D								

	Действительные размеры D = B ± Δ, мм						Предельные размеры по ГОСТ		Заключение о годности детали
	1		2		3				
	I	II	I	II	I	II	наиб.	наим.	
d									
D									

Отклонения от правильной геометрической формы					
Размер	Овальность	Седлообразность	Бочкообразность	Конусообразность	Заключение о годности
d					
D					

Измерение радиального и торцового биения			
Параметр	Измеренная величина	Предельная величина по чертежу	Заключение о годности
Радиальное биение			
Торцовое биение			

СПбГУПТД Кафедра ……..	Фамилия, и., о. студента ……..	Группа …….	Дата выполнения ……..	Дата защиты, подпись преподавателя ……

Ответы на контрольные вопросы: .....
……

Приложение Б.4

Отчет по работе. Контроль предельных калибров

Техническая характеристика прибора	**Схема измерения калибра-пробки**
Название и тип прибора ……	
Цена деления шкалы, мм ……..	
Пределы измерения по шкале, мм …….	
Пределы измерения прибора в целом, мм …….	

Схема полей допусков калибра	**Предельные размеры калибра по ГОСТ 21401–75, мм**	
	Р-ПР новый наибольший	
	Р-ПР новый наименьший	
	Р-ПР изношенный	
	Р-НЕ новый наибольший	
	Р-НЕ новый наименьший	

Результаты измерений							
Сторона калибра	Направления измерения	Показания по шкале прибора, мм		Размер блока концевых мер	Действительные размеры калибра		Заключение о годности калибра
		1–1	2–2		1–1	2–2	
Р-ПР	I–I						
	II–II						
Р-НЕ	I–I						
	II–II						

СПбГУПТД Кафедра	Дата выполнения работы	Фамилия, и., о. студента	Группа	*Отметка о выполнении*
.....	……	……..	……..	**.....**

Ответы на контрольные вопросы: .....
……

Приложение Б.5

Настройка и контроль регулируемой скобы		
Схема расположения полей допусков скобы		
Размеры контрольных калибров		
К-РП$_{ср}$	К-НЕ$_{ср}$	К-И$_{ср}$

Размер блока для настройки		Размеры концевых мер				
		1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
К-РП						
К-НЕ						
К-И						

СПбГУПТД Кафедра …… …….	ФИО студента Группа	Дата выполнения работы	Дата и подпись преподавателя

Ответы на контрольные вопросы:

……
……
……
……

Приложение Б.6

Отчет по работе. **Контроль шероховатости поверхности**

Характеристика прибора	Схема измерения микронеровностей	Эскиз детали с обозначением шероховатости
Наименование и обозначение:.....		
Пределы измерения: ..... мкм; Классы.....		
Применяемые объективы: *A* ..... *F* = ... мм		
Увеличение телекамеры .....мм		

Оптическая схема микроскопа с обозначением элементов	Номер измерения	**Результаты измерений**		
		R_z	S	R_{max}
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	Среднее значение			

Заключение о соответствии шероховатости поверхности эталону шероховатости: …… ……	Заданная величина по чертежу, мкм: R_z..... S …….. R_{max}…….	Измеренная (действиительная) величина: R_z..... S …….. R_{max}……..	Заключение о годности детали по шероховатости поверхности: R_z..... S ……. R_{max}…….. Класс шероховатости поверхности по R_z	
СПбГУПТД Кафедра	Фамилия, и., о. студента	Группа	Дата выполнения ……	Отметка о выполнении ……

Ответы на контрольные вопросы: ……
……

Приложение Б.7

Контроль параметров резьбы

Таблица Б.7.1. **Номинальный и предельные размеры резьбы**

Обозначение резьбы	Шаг резьбы *P*, мм	Номинальные диаметры резьбы по ГОСТ 24705–81, мм		
		наружный d	средний d_2	внутренний d_1

Таблица Б.7.2. **Результаты измерений диаметров резьбы**

Параметр резьбы	Средства измерений		Результаты измерений, мм			Предельные размеры по ГОСТ 24705–81, мм		Заключение о годности
	Название	Тип и характеристика	1-го	2-го	3-го	наиб.	наим.	
d	Штангенциркуль	ШЦ…… Цена дел…						
d	Микрометр гладкий	МК……. Цена деления……..						
d_2	3 проволочки и микрометр гладкий	Ø проволочек d = ... мм Микрометр МК ..... Цена дел……	М =	М =	М =			
			d_2 =	d_2 =	d_2 =			
d_1	Лупа электронная	Тип.....….. Увеличение... Цена дел ……						
Шаг *S*	Лупа электронная	Тип.....……. Увеличение... Цена дел ……				Средняя погрешность шага ΔP = ……		

3. Схемы расположения полей допусков наружной резьбы для *d, d₂ и d₁* с обозначением предельных размеров:

СПбГУПТД Кафедра	Дата выполнения работы	Фамилия, и., о. студента	Группа	Дата защиты, подпись

Ответы на контрольные вопросы: …….

Приложение Б.8

Контроль параметров резьбы на инструментальном микроскопе

Характеристика средств измерений	Инструментальный микроскоп	Резьбовой микрометр МВМ	Гладкий микрометр МК	Проволочки для измерения d_2
Цена деления				
Пределы измерения				

Результаты измерений параметров резьб

Параметр	Средство измерения	Действительные результаты измерений			Предельные размеры по ГОСТ 24705–81		Заключение о годности
		1-го	2-го	3-го	наиб.	наим.	
d	Микрометр гладкий						
d	Инструментальный микроскоп						
d_1	Инструментальный микроскоп						
d_2	Резьбовой микрометр						
d_2	3 проволоки и гл. микр.						

Измерение шага резьбы

Результаты	По левой стороне	По правой стороне	Схема измерения шага резьбы
1-й отсчет			
2-1 отсчет			
Размер 5 шагов			
Средний размер 5 шагов			
Номинальный размер 5 шагов			Расчет диаметральной компенсации f_P
Погрешность 5 шагов			$f_P =$

Измерение угла профиля

Результаты измерений				Схема измерения половины угла профиля
$\frac{\propto}{2} I$	$\frac{\propto}{2} III$	$\frac{\propto}{2} II$	$\frac{\propto}{2} IV$	
Среднее значение				
Погрешность полов. угла профиля				Средняя погрешность
$\Delta \frac{\propto}{2}$ лев $=$	$\Delta \frac{\propto}{2}$ пр $=$			$\Delta \frac{\propto}{2} =$

Расчет диаметральной компенсации $f_\alpha =$			
Расчет приведенного среднего диаметра		Схема полей допусков d_2 и $d_{2прив}$	
$d_{2прив} =$			
Заключение о годности резьбы по приведенному среднему диаметру $d_{2прив}$			
$\leq d_{2изм} \leq$ $\leq d_{2прив} \leq$			
СПбГУПТД Кафедра ……. ……	ФИО студента Группа	Дата выполнения работы	Дата и подпись преподавателя

Ответы на контрольные вопросы: …….

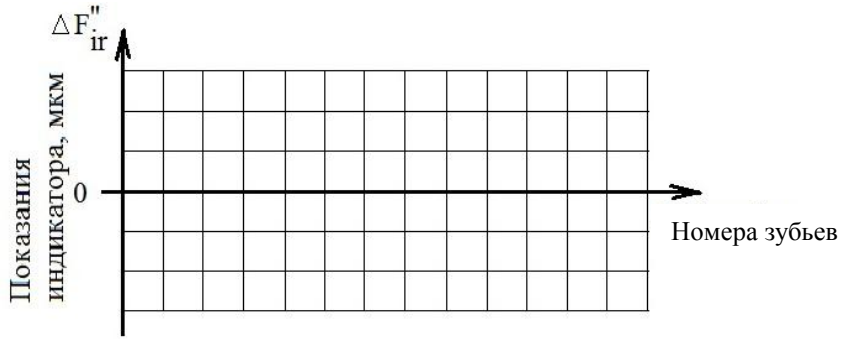
Приложение Б.9

Таблица Б.9.1. **Контроль точности зубчатых колес**

Параметры выбранного контрольного комплекса	Кинематическая точность	Плавность	Нормы контакта	Боковой зазор	
Техническая характеристика выбранных приборов	Название прибора				
	Обозначение прибора				
	Пределы измерений				
	Предельная погрешность измерений, мкм				
Исходные данные для измерений	Модуль *m*, мм	Число зубьев Z	Угол зацепления α°	Степень точности и вид сопряжения	Коэффициент смещения исходного контура
Проверяемое колесо					

Таблица Б.9.2. **Контроль отклонений межосевого расстояния**

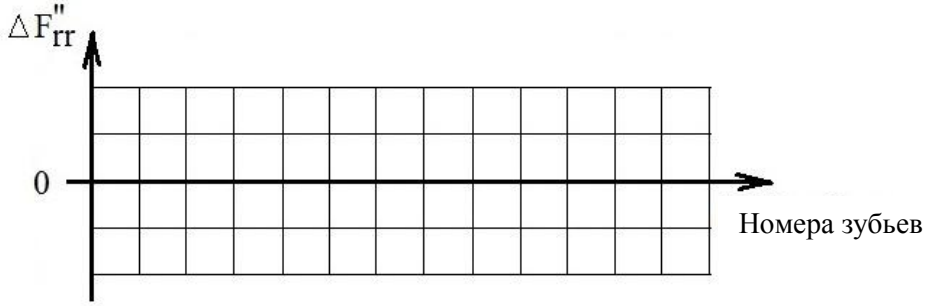
Расчет величины межосевого расстояния	$a_W =$
График отклонений межосевого расстояния с указанием величин F''_{ir}, f''_{ir}, $E_{a''e}$ и $E_{a''i}$	



Результаты измерений	F''_{ir}	f''_{ir}	$A_{a''e}$	$E_{a''i}$	Пятно контакта
Измеренная величина					
Соответствующая ей степень точности по ГОСТ 1643–81					
Заключение о годности колеса по измеренному параметру					

Таблица Б.9.3. **Контроль радиального биения зубчатого венца**

График радиального биения с указанием F_{rr}	



Радиальное биение зубчатого венца F_{rr}, мкм	
Соответствующая ему степень точности по ГОСТ 1643–81	
Требуемая степень точности (по чертежу)	
Заключение о годности	

Таблица Б.9.4. **Контроль погрешностей шага (окружного)**

Номер шага	Показания прибора V_{pr_i}, мкм	Отклонения шага от среднего f_{pt_i}, мкм	Суммирование погрешностей $\sum_{k=1}^{i} f_{pt_i}$
1	0	- 2	- 2
2	+ 5	+ 3	+ 1
3	+ 7	+ 5	+ 6
4	+ 5	+ 3	+ 9
5	- 2	- 4	+ 5
6	- 3	- 5	0
7	- 8	- 10	- 10
8	- 12	- 14	- 24
9	- 5	- 7	- 31
10	- 3	- 5	- 36
11	+ 4	+ 2	- 34
12	+ 8	+ 6	- 28
13	+ 5	+ 3	- 23
14	+ 6	+ 4	- 21
15	+ 12	+ 10	- 11
16	+ 5	+ 3	- 8
17	+ 4	+ 2	- 6
18	+ 6	+ 4	- 2
19	+ 4	+ 2	0
20	+ 2	0	0
Z = 20	$\sum_{i=1}^{20}$ +40 мкм, $f_{pt_1} = -\frac{40}{20} = -2$ мкм		$F_{pr} = 9 - (236) = 45$ мкм
Накопленная погрешность по шагу F_{pr}, мкм			
Соответствующая ей степень точности по ГОСТ 1643–81			
Требуемая степень точности по чертежу			
Заключение о годности			

Таблица Б.9.5. **Контроль длины общей нормали**

Номер зубьев	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	…
Показания прибора																

Колебание длины общей нормали $F_{V_W r}$, мкм	
Допускаемая величина F_{V_W} по ГОСТ 1643–81, мкм	
Заключение о годности колеса по $F_{V_W r}$	
Расчетная величина общей нормали $W_{\text{ном}}$	
Средняя длина общей нормали W_{m_r}	
Отклонение средней длины общей нормали $E_{W_m r}$	
Заключение о годности колеса по $A_{W_m r}$ (в цифрах) $E_{W_m S} < E_{W_m r} < E_{W_m S} + T_H$	

Таблица Б.9.6. **Контроль толщины зуба**

Расчеты	Результаты измерений	
	Номер зуба	Показания прибора
$\bar{S}_c =$	1	
	2	
	3	
$\bar{h}_c =$	.	
	.	
	.	
Наименьшее отклонение толщины зуба E_{cs}		
Допуск на толщину зуба T_c по ГОСТ 1643–81		
Заключение о годности (записать в цифрах) $\bar{S}_c - E_{cs} \geq S_{cr_i} \geq \bar{S}_c - E_{cs} - T_c$		

Таблица Б.9.7. **Контроль отклонений шага зацепления**

Расчет величины шага зацепления P_α	Размер блока В	Погрешность установки прибора на нуль $\Delta_{уст}$	Номера зубьев	Показания прибора (отклонение шага)	Отклонения шага с учетом погрешности установки f_{pbr}
$P_\alpha = \pi \cdot m \cdot cos\alpha$		$\Delta_{уст} = P_\alpha - B$	1		
			2		
			3		
Среднее измеренное отклонение шага зацепления f_{pbr}, мкм					
Соответствующая степень точности по ГОСТ 1643–81					
Требуемая степень точности по чертежу					
Заключение о годности					

Таблица Б.9.8. **Контроль величины смещения исходного контура**

Номер зубьев	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	…
Показания прибора																

Измеренная величина дополнительного смещения исходного контура E_{H_r}, мкм	Наибольшая	
	Наименьшая	
Измеренная величина дополнительного смещения исходного контура E_{H_s} по ГОСТ 1643–81, мкм		
Допуск на смещение исходного контура T_H по ГОСТ 1643–81, мкм		
Заключение о годности (записать в цифрах): $E_{H_s} > E_{H_r} > E_{H_s} + T_H$		

Расчет величины коэффициента смещения	Величина коэффициента смещения *X* по чертежу	Заключение о годности по величине *X*
$X = \frac{(x\,m)_{ср}}{m} =$		

СПбГУПТД Кафедра.	ФИО студента Группа	Дата выполнения работы	Подпись преподавателя Дата

Приложение В

Таблица В.1. **Допустимые погрешности измерения по [2], [28], [29]**

Квалитет	Номинальные размеры, мм												
	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
5	4/1,4	5/1,6	6/2	8/2,8	9/3	11/4	13/4	15/5	18/6	20/6	23/8	25/9	27/9
6	6/1,8	8/2	9/2	11/3	13/4	16/5	19/5	22/6	25/7	29/8	32/10	36/10	40/12
7	10/3	12/3	15/4	18/5	21/6	25/7	30/9	35/10	40/12	46/12	52/14	57/16	63/18
8	14/3	18/4	22/5	27/7	33/8	39/10	46/12	54/12	63/16	72/18	81/20	89/24	97/26
9	25/6	30/8	36/9	43/10	52/12	62/16	74/18	87/20	100/30	115/30	130/30	140/40	155/40
10	40/8	48/10	58/12	70/14	84/18	100/20	120/30	140/30	160/40	185/40	210/50	230/50	250/50
11	60/12	75/16	90/18	110/30	130/30	160/40	190/40	220/50	250/50	290/60	320/70	360/80	400/80
12	100/20	120/30	150/30	180/40	210/50	250/50	300/60	350/70	400/80	460/100	520/120	570/120	630/140
13	140/30	180/40	220/50	270/60	330/70	390/80	460/100	540/120	630/140	720/160	810/180	890/180	970/200
14	250/50	300/60	360/80	430/90	520/120	620/140	740/160	870/180	1000/200	1150/240	1300/260	1400/280	1550/320
15	400/80	480/100	580/120	700/140	840/180	1000/200	1200/240	1400/280	1600/320	1850/380	2100/440	2300/460	2500/500

Примечание. В числителе дан допуск *IT* квалитета, в знаменателе – допустимая погрешность измерения $\delta_{изм}$, мкм.

Таблица В.2. **Предельные погрешности измерения *δ* наружных размеров и биения универсальными измерительными средствами, мкм, [2], [28], [29]**

Средства измерений	Класс мер	Ход стержня, мм	Номинальный размер, мм									
			1..6	6..10	10…18	18…50	50…80	80…120	120...180	180...260	260…360	360...500
Штангенциркули (ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,1 мм	—	—	150	150	150	150	200	200	200	200	200	250
Штангенциркули (ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,05 мм	—	—	100									
Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм при измерении размера	5	10	20	20	20	20	20	20	25	30	30	40
	3	1	10									
	3	0,1	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10
Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм при измерении биения	—	10	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
		0,1	10									
		0,02	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10
Индикаторы рычажно-зубчатые (ИРБ ИРТ) с ценой деления 0,01 мм при измерении биения	—	0,8	15									
		0,1	10									
		0,02	5									
Головки пружинные (микрокаторы) (10 ИГП) с ценой деления 0,001 мм	1	—	0,5	1	1	1	1	1	1	1	—	
Головки пружинные (микрокаторы) (2ИГП) с ценой деления 0,002 мм	2	—	1	1	2	2	2	2	2	2	—	
Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм	1	—	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—

Окончание табл. В.2

Средства измерений	Класс мер	Ход стержня, мм	Номинальный размер, мм													
			10...25	25...50	50...75	75...100	100...125	125…150	150…175	175…200	200…225	225…250	250…275	275…300	300…400	400…500
Скобы индикаторные (СИ) с ценой деления 0,01 мм (в руках)	5	3	15		20						40				50	60
	3	0,1	10													
Микрометры гладкие (МК) с ценой деления 0,01 мм (в руках)	—	По установочной мере	5		10		15		20		25		30		40	50
Микрометры рычажные (МР и МРИ) с ценой деления 0,002 и 0,01 мм	—	То же	4	6	10		15		20		25		30		40	50
Скобы рычажные с ценой деления 0,002 и 0,005 мм	3	Вся шкала	4	5	10		20		25		—					
	2	10 делений	2		3		5		—							

Таблица В.3. **Предельные погрешности измерения δ, мкм, внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами [2], [28], [29]**

Средства измерений	Средства установки	Ход стержня	Номинальный размер, мм				
			3...18	18... .50	50...120	120…60	260.. 500
Штангенциркуль (ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III)с отсч. по нониусу 0,1 мм	—	—	200		250	300	
Штангенциркуль (ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,05 мм	—	—	150		200		250
Нутромеры микрометрические (НМ) с ценой деления 0,01 мм	Установочная мера	13	—		15	20	30
Нутромеры индикаторные (НИ) с ценой деления 0,01 мм	Концевые меры 3-го кл. или гладкий микрометр	Весь ход	15	20	25		30
	То же	0,1	10		15		20
	Концевые меры 1-го кл. или установочные кольца	0,03	5		10	10	—
Оптиметры и длиномеры горизонтальные с ценой дел. 0,001 мм	Конц. меры 1-го кл. с боковиками	±0,06	1	1,5	2,5	5	9

Примечание. Подробные данные по выбору средств измерений см. [19, т. 2, с. 32...45], [28].

Оглавление

Предисловие ……..…...……3
1. КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ 5
2. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ …….....….....….....8
3. РАБОТА СО ШТАНГЕНИНСТРУМЕНТОМ.....12
3.1. Устройство и принцип действия штангенинструмента.....12
3. 2. Практическая работа со штангенинструментом 18
3.2.1. Порядок и методика проведения измерений.....18
4. РАБОТА С МИКРОМЕТРИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ 20
4.1. Устройство микрометрических инструментов.....20
4.2. Практическая работа по измерению микрометром.....25
4.2.1. Порядок и методика проведения измерений.....25
5. ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ КОНЦЕВЫЕ МЕРЫ ДЛИНЫ.
УГЛОВЫЕ МЕРЫ.....28
5.1. Устройство и принцип использования 28
5.1.1. Плоскопараллельные концевые меры длины 28
5.1.2. Угловые меры……32
5.2. Практическая работа с концевыми мерами длины.....34
5.2.1. Порядок и методика проведения измерений.....35
5.3. Настройка рычажной скобы СР при помощи блока КМД 37
6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ.....39
6.1. Устройство и принцип действия.....39
6.2. Практическая работа: контроль формы и расположения
поверхностей индикаторами.....42
6.2.1. Измерение индикатором наружных размеров.....43
6.2.2. Измерения индикатором внутренних размеров 45
6.2.3. Контроль индикатором радиального
и торцового биения.....47
7. ПРЕДЕЛЬНЫЕ КАЛИБРЫ.....49
7.1. Назначение и конструкция предельных калибров.....49
7.1.1. Калибры для контроля цилиндрических отверстий 50
7.1.2. Калибры для контроля валов 52
7.1.3. Калибры предельные для контроля глубин
и высот уступов ……..55
7.2. Методы и средства контроля калибров.....57
7.3. Практическая работа: контроль размеров гладких калибров;
настройка размеров регулируемых скоб.....60
7.3.1 Контроль размеров калибров-пробок.....61
7.3.2 Настройка регулируемого калибра-скобы на размер.....63
8. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ.....65
8.1. Нормируемые параметры шероховатости поверхности 65
8.2. Методы контроля параметров шероховатости.....66

8.3. Практическая работа: контроль шероховатости поверхности на двойном микроскопе МИС-11.....71
8.3.1. Измерение шероховатости на двойном микроскопе МИС-11 при помощи окуляр-микрометра.....72
8.3.2. Измерение шероховатости поверхности с ТВ-камерой и компьютером.....74
9. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЬБЫ.....77
9.1. Основные параметры резьбы, методы и средства их контроля.....77
9.2. Практическая работа по измерению элементов резьбы универсальными средствами измерений.....79
9.2.1. Порядок проведения измерений.....80
9.2.2. Измерение среднего диаметра d_2 резьбы болта.....81
9.2.3. Измерение внутреннего диаметра d_2 и шага P резьбы болта с использованием ТВ-камеры.....84
9.3. Измерение резьбы на инструментальном микроскопе.....87
9.3.1. Назначение и устройство инструментального микроскопа.....87
9.3.2. Измерения элементов резьбы на инструментальном микроскопе.....88
10. КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС.....91
10.1. Методика выбора контрольного комплекса параметров точности зубчатого колеса.....91
10.2. Практическая работа с измерительными приборами.....95
10.3. Контроль параметров точности зубчатых колес.....96
10.3.1. Контроль измерительного межосевого расстояния.....96
10.3.2. Измерение величины пятна контакта.....99
10.3.3. Контроль радиального биения зубчатого венца.....100
10.3.4. Контроль погрешностей шага.....101
10.3.5. Контроль колебания длины общей нормали.....103
10.3.6. Измерение толщины зуба.....105
10.3.7. Контроль шага зацепления (основного).....107
10.3.8. Контроль величины смещения исходного контура.....109
11. ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ 111
11.1. Выбор универсальных средств для измерения линейных размеров.....112
11.2. Примеры решения задач по выбору универсальных средств измерения линейных размеров.....114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 116
Библиографический список 117
Приложение А 119
Приложение Б 120
Приложение В 132

Учебное издание

Соколов Виктор Павлович

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Универсальные средства технических измерений. Предельные калибры

Учебное пособие

Издательский редактор Н. А. Ерина

Подписано в печать 05.10.2017. Формат 60x84 1/16

Печать трафаретная. Усл. печ. л. 7,9. Тираж 100 экз. Заказ 735

Отпечатано в типографии ФГБОУВО «СПбГУПТД»
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, 26.