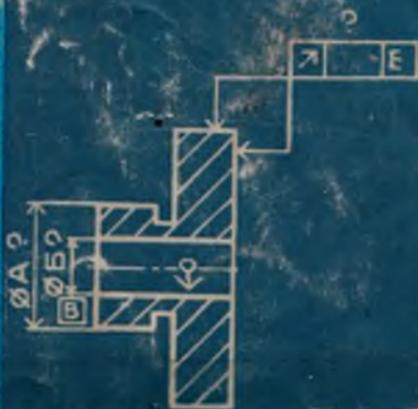


Б.В. ЦИТОВИЧ
В.Л. СОЛОМАХО
Л.Д. КОВАЛЕВ

ВЗАИМО- ЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ



Б.В.ЦИТОВИЧ
В.Л.СОЛОМАХО
Л.Д.КОВАЛЕВ

ВЗАИМО – ЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Допущено Министерством
высшего и среднего специального
образования БССР в качестве
учебного пособия для студентов
машиностроительных и прибо-
ростроительных специальностей
высших технических учебных
заведений

Минск
“Вышэйшая школа”
1987

621.7

~~ББК 34.41я73-~~

Ц74

УДК 621.182.8+621:53.08] (076.5)

Р е ц е н з е н т ы: кафедра "Приборостроение" Рижского политехнического института; А.С. Елизаров, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой "Метрология и стандартизация" Минского радиотехнического института

Цитович Б.В. и др.

Ц74 Взаимозаменяемость, стандартизация и технические изменения: Лаб. практикум / Б.В. Цитович, В.Л. Соломахо, Л.Д. Ковалев. — Мн.: Выш. шк., 1987. — 134 с.: ил.

Рассмотрены вопросы измерения и контроля геометрических параметров деталей, выбор методик выполнения измерений. Включены лабораторные работы по техническим измерениям (контроль размеров, формы, расположения и шероховатости типовых поверхностей деталей). Приведены основные технические характеристики универсальных средств измерений.

Для студентов машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов.

2702000000—150

Ц 35—88

М304 (03) —87

ББК 34.41я73 +30.10я73

Развитие промышленности, повышение эффективности производства и всестороннее улучшение качества выпускаемой продукции неразрывно связаны с ростом достижений науки и техники, автоматизацией производства и сопровождаются интенсивным развитием и совершенствованием систем контроля и управления технологическими процессами. Себестоимость контроля в отдельных отраслях промышленности составляет 25...30 % от себестоимости изделий.

Современное машиностроительное производство может быть высокопроизводительным и обеспечить требуемое качество изделий при их серийном и массовом выпуске только на основе взаимозаменяемости деталей и их стандартизации. Изготовление взаимозаменяемых изделий, соответствие их требованиям технической документации должны контролироваться с высокой точностью. Из всех видов контроля наиболее информативным и объективным является контроль, основанный на использовании средств измерений.

Чтобы правильно использовать и обслуживать парк имеющихся средств измерений, а также внедрять в производственную практику современные методы измерений, необходимы квалифицированные кадры инженерно-технических работников.

“Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения” является одной из основных общинженерных дисциплин при подготовке инженеров-механиков всех специальностей. Поскольку в машиностроении основную долю измерений (от 60 до 95 %) составляют линейные и угловые измерения, лабораторные работы, приведенные в настоящем учебном пособии, направлены на использование студентами положений теории взаимозаменяемости и стандартизации и приобретение ими практических навыков в области технических измерений линейных и угловых величин.

Лабораторный практикум состоит из двух разделов и приложения и базируется на известных работах советских ученых, положениях стандартов СЭВ и государственных стандартов СССР [1—8].

В первом разделе рассматриваются общие теоретические предпосылки измерений и контроля геометрических параметров деталей, выбор методики выполнения измерений, во второй — включены лабораторные работы по техническим измерениям, содержанием которых является контроль размеров, формы, расположения и шероховатости типовых поверхностей деталей. В приложении приведены основные технические характеристики некоторых универсальных средств измерений.

Работы выполняются с использованием средств измерений из числа рекомендуемых в описании лабораторной работы. Выбор конкретных средств измерений зависит от имеющейся базы.

Структура лабораторного цикла зависит от профиля подготовки специалистов.

Лабораторный практикум написан в соответствии с программой курса, утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования. Кроме студентов вузов, он может использоваться работниками метрологических служб и отделов технического контроля всех отраслей машиностроения и приборостроения.

Авторы

1. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. ИЗМЕРЕНИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Метрология оперирует терминами, которым в большинстве случаев соответствуют стандартные определения. В соответствии с ГОСТ 16263—70 измерением называется нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Основное уравнение измерения [8]

$$Q = q [e], N$$

где Q — значение физической величины; N — числовое значение данной физической величины в принятых единицах; $[e]$ — единица данной физической величины.

Из уравнения измерения следует, что в основе измерения физической величины лежит сравнение ее с некоторой единицей. От выбора этой единицы будет зависеть искомое числовое значение величины.

Под *физической величиной* понимают свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но индивидуальное в количественном отношении для каждого объекта.

Значение физической величины — оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Следует различать "истинное значение физической величины", которое идеальным образом отражает в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта, и "измеренное значение физической величины", всегда отличающееся от истинного вследствие наличия погрешности измерения. Результат измерения любой физической величины можно представить в виде

$$X = Q + \Delta,$$

где X — измеренное значение физической величины; Q — истинное ее значение; Δ — абсолютная погрешность измерения.

Так как $Q = X - \Delta$, зная погрешность измерения, можно оценить истинное значение физической величины.

Поскольку любой результат измерения содержит погрешность, необходимо ограничить ее, чтобы определенные измеренные значения физической величины можно было использовать вместо истинного ее значения. Для выделения таких значений из всех измеренных введено понятие "действительного значения физической величины", которое находится экспериментальным путем и настолько близко к истинному ее значению, что для поставленной цели (задачи) может быть использовано вместо него.

Различают следующие основные виды измерений: прямые и косвенные, абсолютные и относительные, совокупные и совместные.

Прямое измерение — то, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. При ничтожно малой погрешности измерения

$$Q = X,$$

где Q — значение физической величины; X — результат измерения.

Косвенное измерение — такое, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, значения которых находятся прямыми измерениями. Уравнение косвенного измерения:

$$Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

где Q — искомое значение величины; X_1, X_2, \dots, X_n — значения величин, полученные прямыми измерениями.

Примерами косвенных измерений могут служить: нахождение плотности тела по его массе и геометрическим размерам, нахождение угла по результатам измерения сторон треугольника и др.

Абсолютное измерение основывается на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Относительное измерение — измерение отношения значения величины к значению одноименной величины, играющей роль единицы, или изменение значения величины относительно значения одноименной величины, принимаемого за исходное.

Пример относительного измерения — определение относительной влажности воздуха как отношения массы водяных паров к массе водяных паров, которые насыщают тот же объем воздуха при данной температуре.

Измерения выполняются различными методами.

Метод измерений — совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Все методы измерений можно разбить на две группы: 1) непосредственной оценки и 2) сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки основывается на том, что значения величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (измерение давления пружинным манометром, измерение биения индикатором часового типа).

Метод сравнения с мерой — метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (измерение массы тела на рычажных весах с уравновешиванием его гирями, измерение длины рычажной скобой с настройкой по концевым мерам длины).

Метод сравнения с мерой может быть реализован в частных разновидностях, таких как дифференциальный метод, нулевой метод и др.

При дифференциальном методе на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой. Таким является измерение длины индикатором часового типа на стойке при настройке по блоку плоскопараллельных концевых мер.

Нулевой метод сравнения с мерой предполагает, что результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием).

Поскольку общее определение метода измерения включает и используемые принципы измерений, конкретные наименования методов иногда основываются на применяемом *принципе измерений*, т.е. совокупности физических явлений, на которых основаны измерения. Например, интерференционный метод измерения линейных величин, электрические методы измерений механических величин и т.д. Подобные характеристики метода измерения не обладают достаточной общностью, поэтому желательно при классификации методов начинать с выделения их принципиальных признаков (метод непосредственной оценки либо метод сравнения с мерой), а затем по необходимости включать указание принципа измерений. Например: метод непосредственной оценки линейных величин с помощью лазерного интерферометра.

Измерения по достижимой точности можно разделить на два вида: 1) измерения с максимально возможной точностью, достижимой при налагаемых ограничениях; 2) измерения с погрешностями, не превышающими заранее установленных значений.

Первый вид измерений применяется при научных исследованиях, а также при определении эталонов единиц физических величин в метрологии. Иногда такие измерения называют метрологическими.

Второй вид измерений применяют в тех случаях, когда имеется априорная информация об исследуемом объекте (например, нормированы предельные значения измеряемой величины). Такие измерения осуществляются при контроле точности готовых изделий, контроле точности технологических процессов, проверке средств измерений. Абсолютное большинство измерений в промышленности относится к этому виду. Эти измерения мы будем в дальнейшем называть техническими.

Результаты технических измерений в большинстве случаев используют для контроля продукции или технологических процессов. Сущность контроля состоит в получении информации о фактическом состоянии некоторого объекта по контролируемому признаку и сопоставлении этой информации с заранее установленными требованиями, нормами, критериями в целях обнаружения соответствия или несоответствия фактических данных требуемым (ожидаемым).

В соответствии с ГОСТ 16504–81 "Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения" технический контроль (контроль) – проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям. Среди видов технического контроля различают: операционный – контроль продукции или процесса во время выполнения или после завершения технологической операции; приемочный – контроль продукции, по результатам которого принимается решение о ее пригодности к поставкам и (или) использованию; измерительный – контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

В машиностроении наиболее часто применяются операционный и приемочный контроль линейных размеров изделий, причем контроль измерительный. Измерения, выполняемые в процессе технического контроля, являются одним из наиболее распространенных видов технических измерений.

Так как большинство технических измерений связано с контролем линейных размеров изделий, приведем некоторые наиболее широко используемые термины из ГОСТ 25346–82 (СТ СЭВ 145–75).

Размер — числовое значение линейной величины (диаметр, длина и т.д.) в соответствующих единицах.

Действительный размер устанавливается измерением с допустимой погрешностью.

Предельные размеры — два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер.

Наибольший предельный размер — больший из двух предельных размеров; *наименьший предельный размер* — меньший из них.

Очевидно, что поверхность, которой приписан один номинальный размер, в действительности будет характеризоваться бесконечным множеством реальных размеров. Для формального согласования этих размеров с предельными используют понятия предельных размеров поверхности на предписанной нормированной длине.

Для валов диаметр наименьшего воображаемого цилиндра, который описан вокруг вала так, что его точки плотно контактируют с выступающими точками поверхности вала (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к валу без зазора), не должен быть больше, чем проходной предел размера. При этом минимальный диаметр вала не должен быть меньше непроходного предела размера. На таких же принципах строится истолкование предельных размеров отверстия.

Термин *проходной предел* применяется к тому из двух предельных размеров, который соответствует максимальному объему (массе) материала (верхнему предельному размеру для вала, нижнему предельному размеру для отверстия).

Термин *непроходной предел* применяется к тому из двух предельных размеров, который соответствует минимальному объему (массе) материала (нижнему предельному размеру для вала, верхнему предельному размеру для отверстия).

1.2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Средство измерений — техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства. Средства измерений можно классифицировать по конструктивным признакам (меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки, измерительные системы), по метрологическому назначению (эталоны, образцовые средства измерений, рабочие средства измерений), по виду измеряемых физических величин (приборы для измерения длин, углов, давления, скоростей и т.д.), по принципу действия (механические, оптические, пневматические, гидравлические, электрические, комбинированные и др.), а также по уровню точности (на классы, разряды).

Мера — средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. Примеры однозначных мер: гиря — мера массы, плоскопараллельная концевая мера длины, угловая концевая мера; многозначных мер: линейка с миллиметровыми делениями, конденсатор переменной емкости, транспортир угломерный и т.д.

Измерительный преобразователь — средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Примеры преобразователей: индуктивный измерительный преобразователь, термопара, тензорезистор.

В зависимости от положения в измерительной цепи измерительный преобразователь может быть первичным или промежуточным, преобразование же сигнала измерительной информации, как правило, осуществляется в определенном соотношении (масштабный преобразователь).

Измерительный прибор — средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Примеры измерительных приборов: ртутный термометр, гладкий микрометр (аналоговые приборы), электронные часы, цифровой вольтметр (цифровые приборы), профилограф, кругломер (регистрирующие приборы, которые могут быть самопишущими или печатающими).

Измерительная установка — совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенная в одном месте (например, установка для измерения удельного сопротивления электротехнических материалов).

Измерительная система — совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

Для обеспечения единства измерений — состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью, необходимо реализовать узаконенную единицу физической величины во всех средствах измерений. Единица физической величины воспроизводится с помощью специально для этого предназначенных средств измерений — эталонов.

Эталон единицы физической величины — средство измерения (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение этой единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона. Различают первичные эталоны, обеспечивающие воспроизведение единицы с наивысшей в данной стране (по сравнению с эталонами той же единицы) точностью, и вторичные, значения которых устанавливаются по первичным эталонам. Первичный или специальный эталон, утвержденный в качестве исходного для страны, называется *государственным эталоном*. Вторичные эталоны объединяют эталон-свидетель, эталон-копию, эталон сравнения и рабочие эталоны. Рабочий эталон применяется для передачи размера единицы образцовым

средствам измерений высшей точности, а в отдельных случаях — наиболее точным рабочим средствам измерений.

Образцовое средство измерения — мера, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для поверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Рабочее средство измерения — применяется только для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Из приведенных определений ясно, что рабочим средствам измерений передают единицу физической величины от эталона через образцовые средства измерений или в виде исключения (особо точные рабочие средства измерений) — непосредственно. Порядок передачи единицы рабочим средствам измерения фиксируют в виде поверочных схем — общесоюзных и локальных (для отдельных органов метрологической службы).

Поверочная схема — утвержденный в установленном порядке документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от эталона или исходного образцового средства измерения рабочим средствам измерений. Структура поверочной схемы для средств измерения длины показана на рис. 1.1.

Образцовые средства измерений по уровням точности делятся на разряды (первый, второй и т.д.). *Разряд образцовых средств измерений* — категория образцовых средств измерений, отнесенных к одной и той же ступени поверочной схемы.

Рабочие средства измерений распределяются по классам точности. *Класс точности средства измерения* — обобщенная его характеристика, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками средства измерения, влияющими на его точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Использование средств измерений планируется в соответствии с их возможностями, которые описываются техническими и метрологическими характеристиками. *Метрологические характеристики средств измерений* характеризуют такие их свойства, которые оказывают влияние на результаты и погрешности измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений регламентированы ГОСТ 8.009—84. Комплексы метрологических характеристик средств измерений следует составлять из характеристик, указанных в стандарте.

1. *Номинальное значение однозначной меры* Y_H — значение величины, указанное на мере или приписанное ей.

2. *Номинальная статистическая характеристика преобразования измерительного преобразователя* $f_H(x)$ — приписываемая измерительному преобразователю номинальная зависимость информативного параметра его выходного сигнала при номинальных (для данного типа измерительного преобразователя) неинформативных параметрах входного сигнала.

3. Цена деления равномерной шкалы измерительного прибора или многозначной меры, минимальная цена деления неравномерной шкалы прибора или меры.

Шкала прибора — часть отсчетного устройства, представляющая собой со-

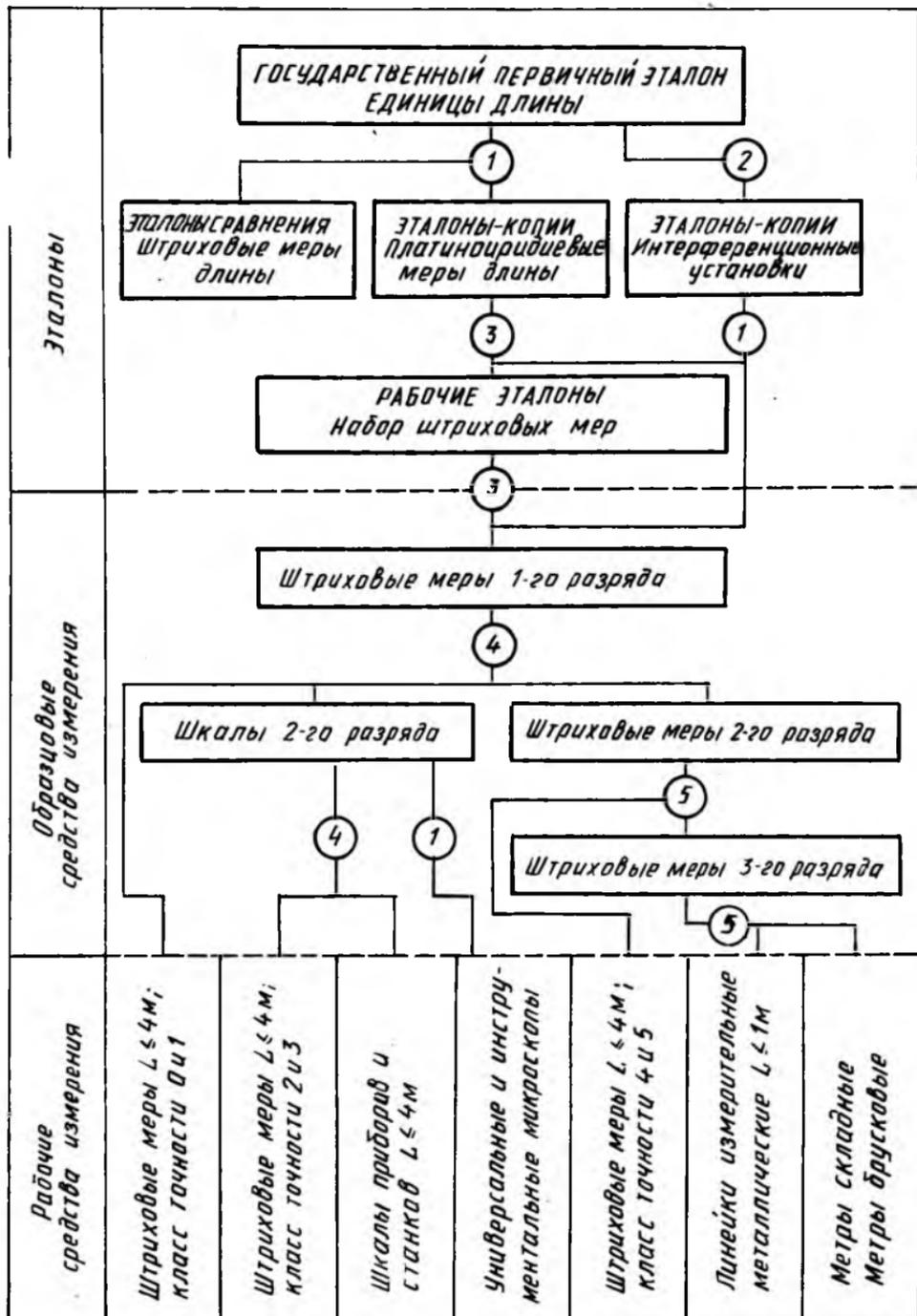


Рис. 1.1. Структура поверочной схемы для штриховых мер длины.

(Обозначение методов поверки: 1 — прямые измерения; 2 — сравнение с государственным эталоном с помощью эталонов сравнения; 3 — сравнение и калибровка на интерференционном компараторе; 4 — сравнение на компараторе; 5 — непосредственное сравнение)

вокупность отметок, соответствующих ряду последовательных значений величины.

Цена деления шкалы — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

4. Пределы шкалы измерительного прибора или многозначной меры.

5. Вид входного кода, число разрядов кода, номинальная цена единицы наименьшего разряда кода средств измерений, предназначенных для выдачи результатов в цифровом коде.

6. Характеристики погрешности Δ средства измерения (может нормироваться предел допускаемого значения Δ_d погрешности средства измерения данного типа или Δ_d , математическое ожидание $M[\Delta]$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma(\Delta)$ погрешности средства измерения данного типа).

7. Характеристики систематической составляющей Δ_c погрешности средства измерения (нормируются аналогично предыдущим).

8. Характеристики случайной составляющей Δ погрешности средства измерения (должны нормироваться либо предельное допускаемое значение $\sigma_d(\Delta)$ среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средства измерения данного типа или нормализованная автокорреляционная функция $r_{\Delta}(\lambda)$ или спектральная плотность $s_{\Delta}(\omega)$ случайной составляющей погрешности).

В пояснение понятия "погрешность средства измерения" приведем стандартное определение (ГОСТ 8.009—84): погрешность средств измерений Δ — разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины (для измерительного прибора), разность между номинальным значением меры и действительным значением воспроизводимой ею величины (для меры), разность между действительной и номинальной характеристиками преобразования (для измерительного преобразователя — приведенная к его выходу).

9. Вариация выходного сигнала измерительного преобразователя, вариация показаний измерительного прибора b — разность значений информативного параметра выходного сигнала измерительного преобразователя (или показаний измерительного прибора), соответствующих данной точке диапазона измерения при двух направлениях медленных изменений информативного параметра входного сигнала в процессе подхода к данной точке диапазона измерений.

Возможно также нормирование таких метрологических характеристик, как входной импеданс измерительного устройства $Z_{вх}$, выходной импеданс измерительного преобразователя (меры) $Z_{вых}$, динамические характеристики средства измерения, неинформативные параметры выходного сигнала измерительного преобразователя (меры).

Для рабочих условий применения средств измерений дополнительно нормируется ряд характеристик.

Рабочие условия применения средств измерений такие, при которых значения влияющих величин находятся в пределах нормированных областей изменения. В рабочих условиях средства измерений характеризуются наличием дополнительных погрешностей в отличие от работы в нормальных условиях,

в которых определяется и действует основная погрешность средства измерений.

Функция влияния $\psi(\xi)$ — зависимость изменений метрологической характеристики средства измерения от влияющих величин или неинформативных параметров входного сигнала в рабочих условиях эксплуатации.

Нормируют также наибольшее допускаемое изменение $-\Delta I(\xi)$ метрологической характеристики средства измерения под влиянием внешних величин или неинформативного параметра входного сигнала и характеристики погрешности $\Delta(\xi)$ средства измерения в интервале изменения значений влияющей величины или неинформативного параметра входного сигнала.

Приведем определения информативных и неинформативных параметров сигналов средств измерений.

Информативный параметр входного сигнала средства измерения — такой его параметр, который функционально связан с измеряемым свойством (для промежуточных и вторичных измерительных устройств) или являющийся самим измеряемым свойством исследуемого объекта (для первичных измерительных устройств).

Информативный параметр выходного сигнала средства измерения — параметр, функционально связанный с информативным параметром входного сигнала средства измерений.

Неинформативный параметр входного сигнала измерительного устройства — параметр, не связанный функционально с измеряемым свойством исследуемого объекта.

Неинформативный параметр выходного сигнала средства измерения — параметр, не связанный функционально с информативным параметром входного сигнала (для измерительного преобразователя) или не являющийся выходной величиной (для меры).

1.3. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность измерения складывается из большого количества первичных ее составляющих, вызываемых разными причинами (погрешности инструментальные, метода, субъективные и погрешности из-за отличия условий применения средств измерений от нормальных). По формам представления различают абсолютные и относительные погрешности измерения, а по характеру проявления погрешности делят на систематические, случайные и грубые.

Инструментальная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств измерений (например, при измерении длины индикаторной скобой инструментальная погрешность включает погрешность прибора и погрешность блока концевых мер, по которому производилась настройка).

Погрешность метода измерений — составляющая погрешности измерения, возникающая из-за несовершенства метода измерения (например, при экстраполяции количественной характеристики свойства, измеренной на ограниченной части некоторого объекта, на весь объект, если он не обладает однородностью этого свойства). Так, считая диаметр цилиндрической поверхности

равным результату измерения в одном ее сечении, мы допускаем погрешность, так как реальная поверхность не соответствует идеальной цилиндрической форме. К погрешностям метода относятся также погрешности, вызванные воздействием средства измерения на свойства объекта (например, погрешности из-за деформации детали под действием измерительного наконечника прибора).

Субъективные погрешности разнообразны и связаны с участием оператора в процессе измерения. При измерении аналоговым прибором они могут включать погрешности отсчитывания. Сюда же относятся погрешности, связанные с интерполяцией, округлением значений величин, параллаксом, если плоскость указателя не совпадает с плоскостью шкалы, и т.д. К субъективным относятся также "операционные" погрешности при манипулировании средствами измерений (например, неточность установки на нуль при нулевом методе измерения, погрешности при использовании интерполяционных устройств приборов и др.).

При отличии условий применения средства измерения от нормальных возникают *погрешности из-за воздействия влияющих физических величин*, значения которых отличаются от нормальных, не только на средство измерения, но и на исследуемый объект. Влияющая физическая величина не является измеряемой данным средством измерения, но оказывает влияние на результаты измерения этим средством. При измерении длины изделий в машиностроении влияющей величиной является, например, температура.

Абсолютная погрешность измерения Δ выражается в единицах измеряемой величины:

$$\Delta = X - Q,$$

где X — результат измерения; Q — истинное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения рассчитывается как отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Относительная погрешность может быть выражена в процентах: $\delta = (\Delta/Q) 100$.

Деление погрешностей по характеру проявления является приемом их анализа, так как одни и те же погрешности с различных позиций можно рассматривать и как систематические, и как случайные. Например, систематическая погрешность шкалы данной штриховой меры является одной из случайных инструментальных составляющих для группы однородных мер, если их систематические погрешности различны, выбор конкретной меры случаен и она используется без внесения поправок по аттестату.

Систематическая погрешность измерения — такая ее составляющая, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Из определения видно, что систематические погрешности различаются по характеру проявления, их можно представить в виде диаграмм в координатах погрешность измерения Δ — номер (или время) измерения N (рис. 1.2). Закономерности изменения систематической погрешности измерения: отсутствие ее изменения во времени — постоянная систематическая погрешность (рис. 1.2, а); монотонное возрастание или убывание — прогрессивная переменная систематическая погрешность (рис. 1.2, б, в); изменение по модулю и знаку — периодическая переменная систематическая погрешность (рис. 1.2, г); изменение погрешности в результате сум-

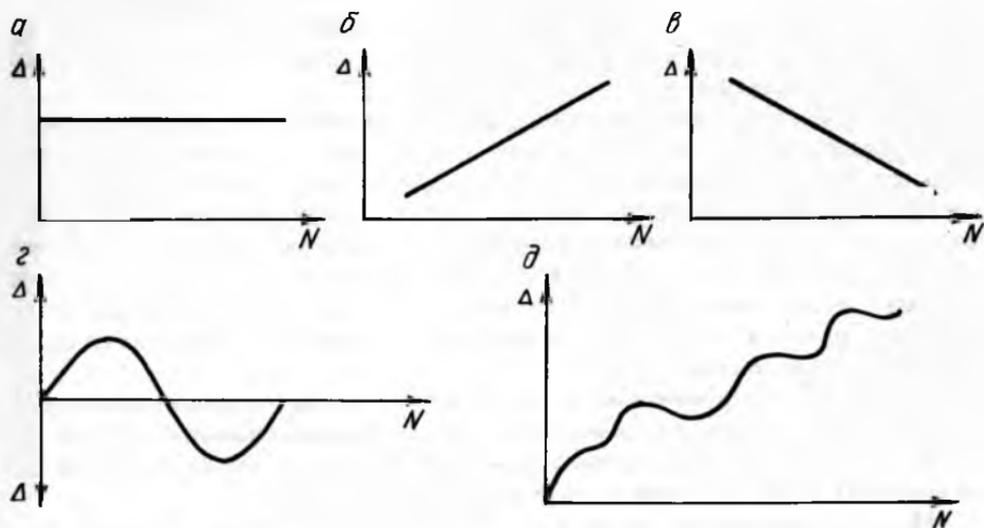


Рис. 1.2. Систематические погрешности измерений

мирования нескольких систематических составляющих — переменная систематическая погрешность, изменяющаяся по сложному закону (рис. 1.2, д).

Законы изменения систематических погрешностей бывают настолько сложными, что их не удастся до конца выявить при ограниченном количестве экспериментов. В подобных случаях невыявленные систематические составляющие погрешности измерения могут приравниваться к случайным погрешностям. Например, при измерениях длины металлических деталей часто прибегают к такому допущению: постоянной систематической температурной погрешностью считают погрешность из-за несоответствия температуры нормальному ее значению (отклонение температуры), а погрешности вследствие колебаний температуры во времени из-за движения воздуха, включения и выключения источников тепла и прочего относят к случайным.

Результаты измерений, содержащих систематические погрешности, называют неисправленными. Исправленными считают результаты измерений, которые получены после исключения систематических погрешностей и могут быть подвергнуты статистической обработке без риска получить искаженное описание закона распределения случайных составляющих погрешностей измерений.

По определению систематические погрешности могут быть исключены из результатов измерений, но из-за многообразия причин их возникновения и видов проявления общих методов выявления и исключения систематических погрешностей не существует. Частные методы разрабатывают для каждого конкретного случая, для отдельных систематических составляющих погрешности измерения или их групп. Различают аналитические и экспериментальные методы выявления и исключения систематических погрешностей. Исключение систематических составляющих погрешностей может осуществляться до измерения, в процессе измерения или после него при математической обработке результатов.

Аналитические методы применяются для оценки инструментальных погрешностей, погрешностей метода, в принципе они пригодны и для расчета по-

грешностей, связанных с условиями проведения измерений. Экспериментальными методами выявляются систематические погрешности, возникающие от любых возможных причин.

Эффективность аналитических методов выявления систематических погрешностей зависит от соответствия разработанной аналитической модели реальному процессу измерений. Например, сравнительно просто рассчитать погрешность схемы прибора при наличии в нем рычажной передачи, погрешность метода измерения электрического напряжения вольтметром, обусловленную влиянием собственного электрического сопротивления прибора. Существенно сложнее аналитически учесть влияние условий, отличных от нормальных, например влияние температуры на результаты измерения прибором со сложной кинематической схемой.

Выявление инструментальной систематической погрешности может осуществляться разными методами, в том числе методом сравнения с мерой достаточной точности или с результатами измерений таким же методом и в тех же условиях заведомо более точным средством измерения.

Можно использовать также метод компенсации погрешностей по знаку, который заключается в получении двух результатов измерения, в которые погрешность входит с противоположными знаками. Компенсация погрешностей по знаку может использоваться также для исключения методической погрешности измерений.

Погрешность метода можно также оценить экспериментально, сравнивая результаты измерений двумя методами, один из которых обладает существенно меньшей погрешностью.

Субъективная погрешность может быть обнаружена при сравнении результатов многократных измерений, полученных несколькими операторами, сравнении результатов измерений аттестованной или образцовой меры с ее действительным значением, использовании цифровых и автоматизированных средств измерений.

Исключение погрешности, связанной с условиями измерений, достигается стабилизацией нормальных условий или соответствующей защитой объекта и средств измерений. Применяют также способы автоматической компенсации воздействия наиболее сильно влияющих величин.

Одним из интегральных методов оценки погрешностей измерений является анализ точечных диаграмм результатов измерений одной и той же физической величины, построенных в порядке их получения. Такая диаграмма дает возможность оценить характер переменной систематической погрешности и ее порядок. Частными случаями такого метода являются методы симметричных наблюдений и наблюдений четное число раз через полупериоды. Но анализ точечных диаграмм не позволяет обнаружить и оценить постоянную систематическую погрешность.

Случайная погрешность измерения — такая ее составляющая, которая изменяется случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины (например, погрешность округления при отсчитывании). Случайные погрешности рассматривают как случайную функцию номера (времени) измерения и для их оценки и описания используют аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Для описания случайных величин наиболее часто используются такие их

характеристики, как математическое ожидание случайной величины и ее среднее квадратическое отклонение. Математическое ожидание по мере увеличения числа измерений при практическом отсутствии систематических погрешностей и нормальном распределении измеряемой величины приближается к ее истинному значению. Так как в эмпирическом законе распределения измеряемой величины вероятность или плотность вероятности остаются экспериментатору неизвестными, вместо математического ожидания на практике используют его оценку — среднее арифметическое значение измеряемой величины

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n,$$

где \bar{X} — среднее арифметическое значение величины; X_i — результат i -го измерения; n — число измерений.

Вместо среднего квадратического отклонения результатов измерений используют его оценку $\tilde{\sigma}$, или эмпирическое среднее квадратическое

$$s = \tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

Среднее арифметическое результатов многократных измерений одной и той же величины является точечной оценкой и не дает представления о возможном расхождении этой оценки и истинного значения измеряемой величины. Более полное представление обеспечивает интервальное описание результата измерения, например, $\bar{X} \pm \Delta, P$, где Δ — граница абсолютной случайной погрешности измерения; P — вероятность того, что погрешность измерения лежит в указанных границах.

Границы погрешности измерения определяют исходя из характеристик рассеяния результатов измерений и выбранной вероятности P , для чего можно использовать ГОСТ 8.207—76.

Грубая погрешность измерения существенно превышает ожидаемую при данных условиях. Причиной грубой погрешности может быть внезапный скачок напряжения в сети питания прибора, незамеченное нарушение методики выполнения измерений, неверное снятие отсчета или запись результата (последние погрешности, зависящие от оператора, иногда называют промахами). Грубые погрешности измерения, приводящие к явно нелепым результатам, легко обнаруживаются, а результаты измерений с грубыми погрешностями не учитывают, т.е. не включают в массив данных (цензуруют). Однако некоторые результаты измерений нельзя уверенно цензуровать, в таких случаях прибегают к статистическим методам выявления грубых погрешностей.

Суть статистического способа оценки результатов измерений заключается в том, что грубыми признают те погрешности, вероятность появления которых не превышает некоторой заранее выбранной. Например, при использовании критерия 3σ и распределении погрешностей по нормальному закону, когда вероятность появления экстремальных отклонений измеряемой величины ($\nu_3 > 3\sigma$) составляет менее 0,27 %, можно считать причинами этих отклонений грубые погрешности. Результаты, содержащие грубые погрешности измерений, исключают из рассмотрения при статистической обработке, так как они могут существенно исказить оценку измеряемой величины.

1.4. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

С целью обеспечения единства измерений результаты могут быть представлены в одной из рекомендуемых форм:

- 1) A, Δ от $\Delta_{\text{н}}$ до $\Delta_{\text{в}}$; P ;
- 2) $A, \Delta_{\text{с}}$ от $\Delta_{\text{сн}}$ до $\Delta_{\text{св}}$; $P_{\text{с}}$; $\bar{\sigma}(\Delta)$; $f_{\Delta}^{\text{CT}}(\xi)$;
- 3) $A, \bar{\sigma}(\Delta_{\text{с}}), f_{\Delta_{\text{с}}}^{\text{CT}}(\xi)$; $\sigma(\Delta)$; $f_{\Delta}^{\text{CT}}(\xi)$;
- 4) $A, f_{\Delta_{\text{с}}}(\xi)$; $f_{\Delta}(\xi)$.

Здесь A — результат измерения в единицах измеряемой величины; $\Delta, \Delta_{\text{н}}, \Delta_{\text{в}}$ — соответственно погрешность измерения, ее нижняя и верхняя границы в одних и тех же единицах; P — установленная вероятность, с которой погрешность измерения находится в указанных границах; $\Delta_{\text{с}}, \Delta_{\text{сн}}, \Delta_{\text{св}}$ — соответственно систематическая составляющая погрешности измерения, нижняя и верхняя ее границы; $P_{\text{с}}$ — вероятность того, что систематическая составляющая погрешности находится в указанных границах; $\bar{\sigma}(\Delta), \bar{\sigma}(\Delta_{\text{с}})$ — оценки соответственно среднего квадратического отклонения случайной и систематической составляющих погрешности измерений в единицах измеряемой величины; $f_{\Delta}^{\text{CT}}(\xi), f_{\Delta_{\text{с}}}^{\text{CT}}(\xi)$ — аппроксимации функций распределения случайной и систематической составляющих погрешности измерения $f_{\Delta}(\xi), f_{\Delta_{\text{с}}}(\xi)$ — функции распределения (плотности вероятностей) соответственно случайной и систематической составляющих погрешности измерений.

Наименьшие разряды числовых значений результатов измерений и числовых показателей точности измерений должны быть одинаковы, причем значащих цифр в показателе точности измерений должно быть не более двух.

Представление результата в одной из установленных форм* предполагает обязательную математическую обработку результатов многократных измерений.

1.5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Многократные измерения проводятся для определения погрешности измерений с заданной вероятностью. В основу вероятностной оценки погрешности измерения положено допущение о случайном характере этой погрешности, что правомерно в случае исключения систематической составляющей погрешности измерения, которая обязательно присутствует в любом результате измерения. Поскольку полное исключение систематической погрешности измерения невозможно, удовлетворительной следует считать такую ситуацию, когда остаточная (неисключенная) систематическая составляющая пренебрежимо мала по сравнению со случайной составляющей погрешности измерения.

*Формы представления результатов измерений установлены Методическими указаниями МИ 1317—86.

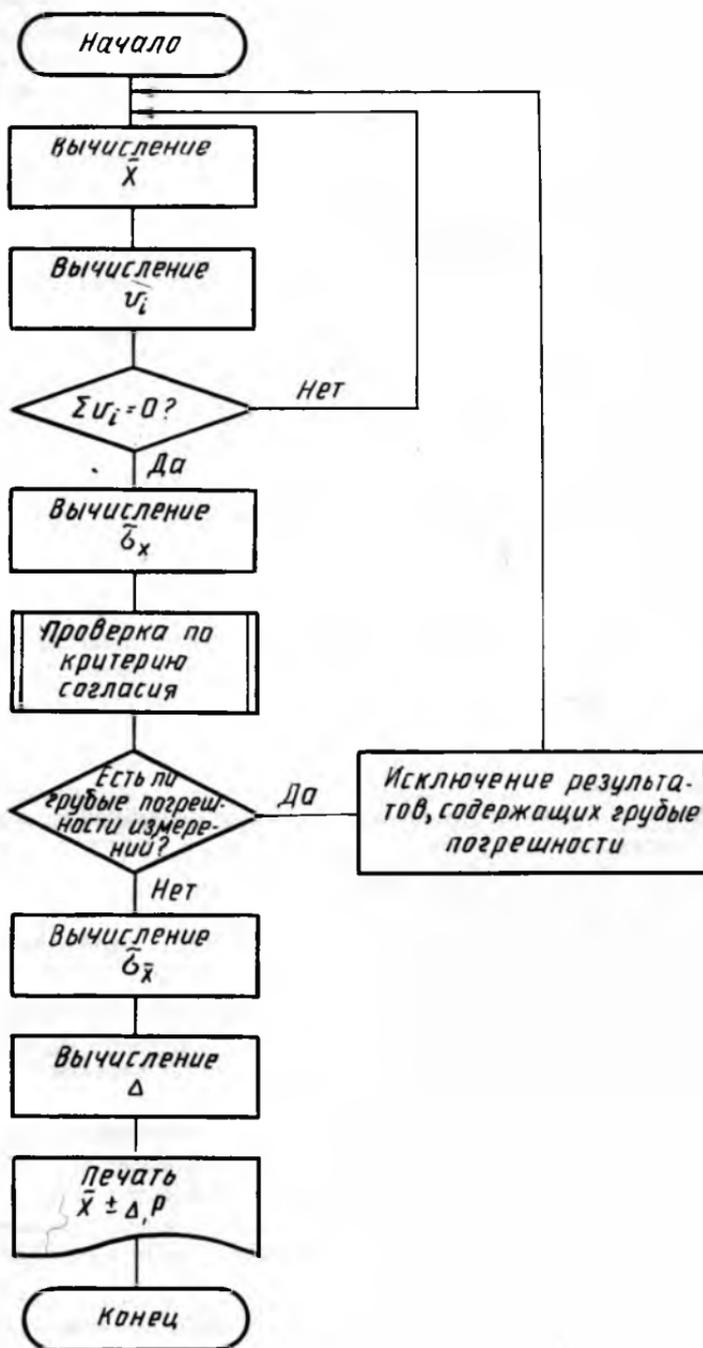


Рис. 1.3. Алгоритм математической обработки результатов прямых измерений

Математическая обработка результатов многократных измерений производится на базе теории вероятностей и математической статистики, причем обработке подлежат исправленные результаты измерений (полученные после исключения систематических погрешностей измерений). В результате такой обработки, как правило, получают результат измерения в первой стандартной форме: $A \pm \Delta, P$.

Порядок математической обработки результатов прямых измерений можно представить следующим образом (рис. 1.3).

1. Найти среднее арифметическое результатов измерений

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i.$$

2. Вычислить n отклонений от среднего:

$$v_i = X_i - \bar{X}.$$

3. Проверить равенство нулю суммы отклонений (несоблюдение равенства свидетельствует об ошибке в вычислении v_i или \bar{X}):

$$\sum_{i=1}^n v_i \approx 0.$$

4. Вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов измерений:

$$\tilde{\sigma}_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}.$$

5. Проверить согласие опытного распределения случайной величины с теоретическим (проверка выполняется в соответствии с ГОСТ 11.006–74 или СТ СЭВ 1190–78). В случае обоснованного предположения о нормальном распределении значений измеряемой величины проверка гипотезы проводится при уровне значимости от 10 до 2 % (ГОСТ 8.207–76). Необходимо иметь в виду, что критериями Колмогорова и Пирсона (ГОСТ 11.006–74) можно пользоваться для выборки объемом $n > 100$, при объеме выборки $n > 50$ – критерием ω^2 , для выборки объемом $n = 3...50$ применяется специальный критерий W . Критериями Колмогорова и ω^2 можно пользоваться только для распределений непрерывных случайных величин.

6. Проверить, нет ли грубых погрешностей. В случае нормального распределения значений измеряемой величины проверка проводится в соответствии с ГОСТ 11.002–73. Возможно использование упрощенного подхода с отбраковкой некоторых результатов измерений по критерию превышения отклонения среднего удвоенного или утроенного значения оценки среднего квадратического отклонения, $|v_i| > 3\tilde{\sigma}_X$.

В случае обнаружения грубых погрешностей результаты измерений, содержащие грубые погрешности, исключаются и математическая обработка повторяется с п. 1.

7. Вычислить оценку среднего квадратического отклонения среднего арифметического исправленных результатов измерений

$$\tilde{\sigma}_{\bar{X}} = \tilde{\sigma}_X / \sqrt{n}$$

8. Вычислить доверительные границы погрешности результатов измерений

$$\Delta = t \tilde{\sigma}_{\bar{X}},$$

где t — коэффициент Стьюдента (определяют по ГОСТ 8.207–76).

Обычно доверительная вероятность $P = 0,95$, в ответственных случаях принимают $P = 0,99$ и выше.

9. Записать результат измерения в стандартной форме $\bar{X} \pm \Delta, P$, где $\Delta \approx \hat{\Delta}$.

В случае, если неисключенная остаточная систематическая составляющая погрешности представляется значимой и известны оценки предельных значений этой погрешности, математическая обработка результатов измерений ведется с учетом неисключенной систематической погрешности. Правила вычисления и суммирования неисключенной систематической составляющей погрешности со случайной приведены в ГОСТ 8.207–76.

В ряде случаев прямые измерения неэффективны или невозможны, тогда измеряют не саму исследуемую физическую величину, а некоторые величины, связанные с искомой известной зависимостью (определение угла по длине катетов и гипотенузы треугольника, площади по линейным размерам фигуры и т.п.). Такие измерения называются косвенными и в общем виде характеризуются зависимостью

$$Q = f(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Обработку результатов косвенных измерений проводят в такой последовательности (рис. 1.4).

1. Вычислить для результатов прямых измерений $\bar{X}_i, \tilde{\sigma}_{X_i}$.

2. Найти значение искомой величины

$$\tilde{Q} = f(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n).$$

3. Определить "вес" каждой частной погрешности косвенных измерений $\frac{\partial f}{\partial X_i} |_{X_i = \bar{X}_i}$.

4. Вычислить частные случайные погрешности косвенных измерений

$$\tilde{E}_{\bar{X}_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \tilde{\sigma}_{X_i}.$$

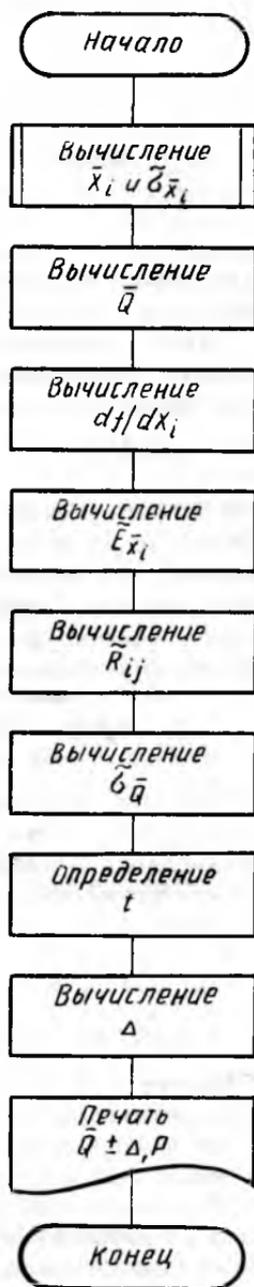


Рис. 1.4. Алгоритм математической обработки результатов косвенных измерений

5. Найти оценку среднего квадратического отклонения результатов косвенных измерений

$$\tilde{\sigma}_{\bar{Q}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 \tilde{\sigma}_{\bar{X}_i}^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n 2 \frac{\partial f}{\partial X_i} \frac{\partial f}{\partial X_j} \tilde{R}_{ij} \tilde{\sigma}_{\bar{X}_i} \tilde{\sigma}_{\bar{X}_j}},$$

где \tilde{R}_{ij} — оценка коэффициента корреляции:

$$\tilde{R}_{ij} = \frac{1}{(n-1) \tilde{\sigma}_{\bar{X}_i} \tilde{\sigma}_{\bar{X}_j}} \sum_{i=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i) (X_{jk} - \bar{X}_j).$$

6. Определить коэффициент Стьюдента t в зависимости от выбранной доверительной вероятности P (ГОСТ 8.207–76).

7. Найти предельные значения случайной составляющей погрешности, принимаемой за погрешность косвенного измерения при условии малости остаточной систематической составляющей погрешности:

$$\Delta = \hat{\Delta}, \hat{\Delta} = t \tilde{\sigma}_{\bar{Q}}.$$

8. Записать результат косвенного измерения в стандартной форме: $\bar{Q} \pm \Delta, P$.

В случае, когда погрешности прямых измерений не зависят друг от друга (например, при определении площади прямоугольника по результатам независимых линейных измерений длины и ширины), коэффициент корреляции равен нулю и оценка среднего квадратического отклонения погрешности результатов косвенных измерений рассчитывается по формуле

$$\tilde{\sigma}_{\bar{Q}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \tilde{E}_{\bar{X}_i}^2}.$$

Обработка результатов косвенных измерений усложняется при наличии значимых неисключенных систематических погрешностей, которые необходимо вычислять и суммировать со случайной составляющей погрешности результатов измерений, как и в предыдущем случае обработки результатов измерений, по правилам, приведенным в ГОСТ 8.207–76.

1.6. ВЫБОР МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Решение любой измерительной задачи предполагает выбор метода измерений (включая средства измерений) по целому ряду признаков.

При выборе метода измерений необходимо обеспечить точность измерений, минимальные затраты времени и средств на их проведение.

Обеспечение требуемой точности измерений — важнейшее условие правильного решения измерительной задачи, так как недостаточная точность результатов делает измерения бессмысленными. Выбор методов измерений по остальным критериям выполняется вслед за выбором их по точностным характеристикам в форме сравнительного анализа конкурирующих методов измерения, обеспечивающих требуемую его точность.

При любых измерениях обязательным условием является получение действительного значения физической величины, т.е. настолько приближающегося к истинному, что для поставленной цели оно может быть использовано вместо истинного значения измеряемой величины. Исходя из этого, можно сформулировать две частные задачи, которые обязательно решают при каждом измерении: выбор допустимой погрешности и определение реальной погрешности измерения, которая должна быть меньше или равна допустимой.

Значение допустимой погрешности $[\Delta]$ выбирают в зависимости от цели измерения. Можно выделить следующие цели измерений: измерительный приемочный контроль продукции (по результатам измерений контролируемой физической величины принимают решение о ее годности); арбитражная проверка результатов приемочного контроля; экспериментальное исследование значений физической величины в фиксированных условиях (получение одной точки исследуемой зависимости); получение значений измеряемой величины с максимальной точностью. В каждом из перечисленных случаев подход к назначению допустимой погрешности измерений будет различен.

При измерительном контроле параметра, ограниченного двумя предельными значениями (разность наибольшего и наименьшего предельных значений параметра называется допуском параметра и обозначается T), допускаемая погрешность измерения не должна превышать $1/5 \dots 1/3$ допуска, причем относительное значение погрешности тем больше, чем точнее задан контролируемый параметр. Можно рекомендовать такие приближенные соотношения: $[\Delta] \leq T/3$ при допуске "высокой точности"; $[\Delta] \leq T/4$ при допуске "средней точности"; $[\Delta] \leq T/5$ при "грубом допуске".

Если параметр изделия, подлежащий приемочному контролю, не ограничен допуском, возможны следующие решения: назначение "условного допуска" по аналогии с подобными параметрами, после чего задача сводится к тривиальной; выбор допустимой погрешности измерения (без предварительного назначения T) исходя из оценки допустимых колебаний контролируемого параметра.

Погрешность $[\Delta]_a$ арбитражной проверки результатов приемочного контроля должна быть пренебрежимо малой по сравнению с погрешностью приемочного контроля. Обычно $[\Delta]_a \leq 0,3 [\Delta]$.

Измерения в экспериментальных исследованиях отличаются тем, что предельные значения физической величины не ограничены, но даже в некоторых фиксированных условиях характеризуются размахом R , значение которого до эксперимента неизвестно. В подобных случаях выбор допустимой погрешности измерений осуществляется в процессе исследований методом проб и ошибок.

Можно рекомендовать такую последовательность решения задачи: выбрать методику выполнения измерений (МВИ), обеспечивающую минимальную погрешность, и, полагая предварительно ее значение допустимым, провести измерения исследуемой физической величины. Если в результате $\Delta = [\Delta] > R$ (колебания значений измеряемой величины происходят в пределах погрешности измерения, и точность результата достаточна для оценки экспериментальных данных), задача решена. Если же результат измерения признан неудовлетворительным, необходимо принять меры для уменьшения погрешности измерений вплоть до обеспечения соотношения $\Delta = [\Delta] \leq (1/10 \dots 1/6) R$,

что позволяет проводить статистическую обработку результатов измерений, т. е. оценить закон распределения случайной величины и его характеристики.

При измерениях с максимальной точностью решение представляется очевидным: допустимая погрешность принимается равной минимальной реализуемой погрешности измерения.

Определение реальной погрешности измерений может выполняться аналитически (до выполнения измерений) или экспериментально на основе более точных методов измерений. Погрешность измерения включает множество составляющих, которые можно разбить на группы в зависимости от причин возникновения и характера проявления, а затем найти их значения для последующего суммирования по определенным закономерностям.

Формализованная последовательность подготовки измерения представлена на рис. 1.5.

Работа начинается с определения цели и задачи измерения (например, измерение вала $\varnothing 50_{-0,03}$ с целью приемочного контроля).

Следующий шаг — установление допустимой погрешности измерения. Для указанной выше задачи можно принять $[\Delta] = 0,01$ мм.

Далее необходимо предложить одну или несколько методик выполнения измерений, которые должны включать применяемые средства измерения, порядок их использования, схему измерения, т. е. все данные, необходимые оператору при выполнении измерения и метрологу при оценке погрешности результата измерения.

На следующем шаге выполняется анализ погрешности измерения, т. е. выявление ее составляющих, их оценка и суммирование. Если аналитическое решение затруднительно или невозможно, прибегают к экспериментальному определению погрешности измерения.

Очередной шаг — сравнение выявленной погрешности измерений, выполненных по одной или нескольким методикам, с допустимой погрешностью. В случае, когда погрешность измерения меньше или равна допустимой, методика выполнения измерений признается удовлетворительной по точности и может использоваться для решения данной измерительной задачи. Конкурирующие методики подвергаются сравнительному анализу и выбирается наиболее подходящая из них с учетом экономичности измерений, имеющегося парка средств измерений, необходимой квалификации оператора и других соображений. Выбором методики выполнения измерений заканчивается процесс решения задачи подготовки измерений.

Выбор методов и средств измерения линейных размеров по точностным параметрам для осуществления приемочного контроля может быть выполнен по ГОСТ 8.051–81 и "Методическим указаниям "Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. РД 50-98–86". Эти документы содержат все необходимые данные для выбора средств измерений, назначения условий их использования, обеспечения измерений с погрешностями, не превышающими установленных стандартами. Так, предельные значения погрешностей измерения линейных размеров в РД 50-98–86 указаны в виде интервала 2σ , что соответствует доверительной вероятности $P = 0,95$, и включают случайные и неучтенные систематические составляющие погрешности измерения. Таким образом, РД 50-98–86 полностью согласованы с требова-

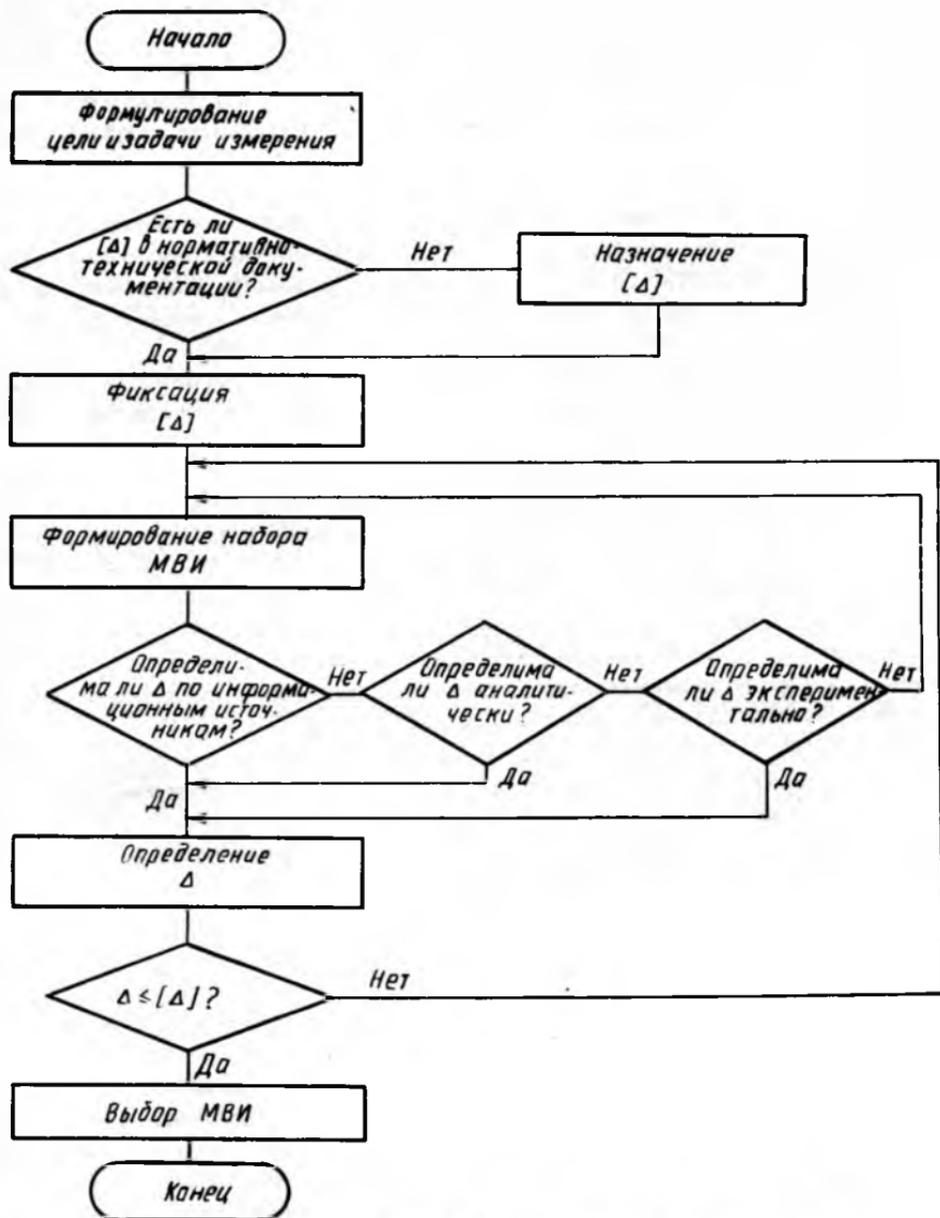


Рис. 1.5. Алгоритм решения задачи подготовки измерения

ниями ГОСТ 8.051–81. При представлении результатов однократного измерения можно заранее записать симметричные значения нижней и верхней границ по погрешности измерения $\pm \Delta = 2\sigma$ и установленную вероятность (95 %), с которой погрешность измерения находится в этих границах. Использование методических указаний избавляет от необходимости самостоятельно рассчитывать суммарную погрешность по выявленным ее составляющим для случаев

измерения универсальными средствами наружных и внутренних линейных размеров деталей, глубин, а также биения.

При измерениях размеров свыше 500 мм, погрешностей формы и расположения поверхностей, угловых размеров допускаемые погрешности не стандартизированы, и однозначное установление их действительных значений затруднительно.

Следует обратить внимание еще на одну особенность выбора средств измерений: кроме соответствия принятого метода измерений и метрологических характеристик выбранного средства задачам измерения необходимо еще оценить "контролепригодность" данного параметра. Например, микрометром или штангенциркулем нельзя измерить фаску или диаметр узкой проточки, не контролируются штангенциркулями (а часто и нутромерами) глубоко расположенные расточки в деталях и т.д. Оценка контролепригодности конструкции рассматривается как одна из задач метрологической экспертизы конструкторской документации.

В большинстве случаев измерения можно рассматривать как составную часть (этап) процесса или операции измерительного контроля. Исходя из этого, при подготовке методики выполнения измерения и выборе его средства следует по возможности использовать материалы ГОСТ 14.317-75 "ЕСТПП. Правила разработки процессов контроля", в котором подробно рассмотрены порядок разработки процессов и операций технического контроля (от анализа задания до оформления документации) и задачи, решаемые на каждом этапе. Стандарт содержит ссылки на основные документы, обеспечивающие решение задач контроля, включая стандарты ЕСТПП, ЕСТД и ГСИ.

ГОСТ 14.317-75 следует использовать в качестве методического руководящего материала при разработке процессов и операций измерений при исследовании точности технологических процессов изготовления (обработки) изделий, при решении других исследовательских задач, связанных с измерениями, а также метрологической экспертизе конструкторской документации.

2.1. ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гладкие цилиндрические и приравняваемые к ним поверхности можно контролировать с помощью универсальных средств измерений или специально разработанных средств, включая жесткие калибры. Из универсальных средств измерений можно выбрать накладные (штангенциркули, микрометры, нутромеры, индикаторные и рычажные скобы и т.д.) или станковые (стойки и штативы различных типов с универсальными приборами, такими как индикаторы, микрометры; оптиметры, длиномеры, микроскопы и др.). Выбор конкретной методики выполнения измерений, включая и выбор средства измерений, осуществляется с учетом множества факторов, важнейшими из которых являются требуемая точность и достоверность контроля.

Как правило, гладкие наружные цилиндрические поверхности изделий и поверхности, приравняемые к ним, доступны для проведения измерений и не накладывают дополнительных существенных ограничений на выбор средств измерения.

Измерение размеров внутренних цилиндрических поверхностей представляет более сложную задачу в связи с необходимостью размещения чувствительных элементов средств измерений в ограниченном пространстве на заданной глубине отверстия, а также обеспечения совпадения линии измерения с направлением контролируемого размера.

При измерительном контроле размеров детали следует иметь в виду, что понятие размера конкретной поверхности детали на предписанном участке не определено. В соответствии со стандартным толкованием предельных размеров, для того чтобы дать заключение о годности детали по размеру гладкой цилиндрической поверхности на предписанной длине, необходимо в идеальном случае иметь характеристику всего рельефа исследуемой поверхности (бесконечное число действительных диаметров, адекватно ориентированных в пространстве). Наименьший из действительных диаметров вала сравнивают с непроходным пределом размера, а диаметр наименьшего правильного воображаемого цилиндра, описанного вокруг вала, — с проходным.

Идеальное решение задачи требует столь значительных затрат времени на измерения, что не имеет смысла. В реальных условиях приближенное решение измерительной задачи получают на основании некоторых допущений, которые кажутся очевидными, но обычно четко не формулируются:

1) выбранное число измерений считается достаточным для заключения о годности детали;

2) наибольший и наименьший измеренные размеры соответствуют наибольшему и наименьшему действительным размерам поверхности, что позволяет сравнивать полученные размеры с предельными.

Существенное значение для измерений имеют принципы определения раз-

мера, которые позволяют найти искомый размер из геометрических соотношений и уменьшить влияние на результат измерения искажений формы контролируемой поверхности. На основании этих принципов предполагается выбор измерительных наконечников и использование вспомогательных движений прибора и детали в процессе измерений.

Измерительные наконечники следует выбирать так, чтобы обеспечить минимальную площадь их контактирования с контролируемой деталью. Например, для измерения размеров сферических поверхностей предпочтительны плоские наконечники, цилиндрических поверхностей — ножевые или плоские, для измерения размеров между плоскими поверхностями — сферические.

Вспомогательные движения прибора и детали в процессе измерений необходимы для того, чтобы определить экстремальное значение размера в выбранном сечении, которое является единственной правильной его характеристикой. При этом руководствуются следующими геометрическими постулатами: диаметр круга есть наибольшая из хорд; диаметр нормального (кругового) сечения цилиндра меньше длины оси эллипса, образованного наклонным сечением под малым углом к нормали; отрезок общей нормали к двум параллельным линиям (плоскостям) — наименьшее расстояние между ними.

Экстремальное значение размера определяют по “точке возврата” показаний прибора в процессе выполнения вспомогательных движений. Например, при измерении размеров наружной цилиндрической поверхности индикатором на стойке или штативе деталь перемещают плоскопараллельно самой себе так, чтобы линия измерения гарантированно совпадала с диаметром контролируемого сечения, при этом показания прибора в “точке возврата” будут максимальными. При измерении прибором с двумя наконечниками размера, ограниченного плоскопараллельными поверхностями, необходимо обеспечить “покачивание” детали относительно линии измерения с переходом через точку возврата, которая в данном случае характеризует наименьший размер сечения и т.п.

Выбор средств измерений определяется их техническими возможностями: метрологическими характеристиками и пригодностью средства измерения для контроля рассматриваемого параметра. При этом необходимо учитывать форму и размеры измерительного наконечника, вылет кронштейна стойки и т.д. Основные учитываемые метрологические характеристики средств измерений — диапазон измерений (либо диапазон показаний приборов, устанавливаемых на стойках) и допустимая погрешность.

При измерении размеров наружной цилиндрической поверхности детали в соответствии с принятыми допущениями, как правило, выбирают традиционную схему измерения размеров цилиндрической поверхности (рис. 2.1, а), если позволяет предписанная длина контролируемой поверхности. В противном случае число контролируемых сечений по длине детали сокращается до двух или даже до одного (для очень коротких поверхностей). Итак, при контроле цилиндрической поверхности количество измеряемых размеров выбирают обычно от 2 до 6.

Короткие цилиндрические поверхности, для которых не предполагается отклонение их оси от прямолинейности ввиду значительной жесткости детали, можно контролировать приборами с двухточечным контактом (микрометры гладкие, микрометры рычажные, индикаторные и рычажные скобы и т.д.), ба-

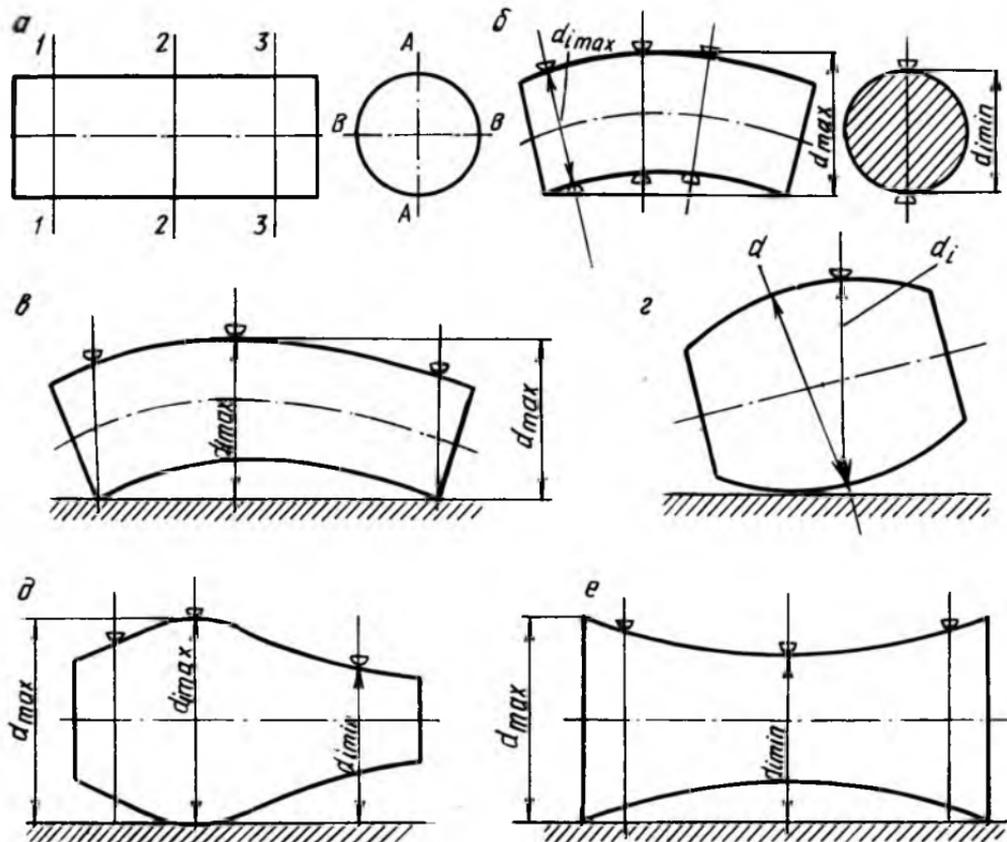


Рис. 2.1. Схемы измерения размеров наружной гладкой цилиндрической поверхности: а — традиционная; б — двухконтактным средством измерения; в...е — одноконтактным

зируя их по образующим контролируемой поверхности (рис. 2.1, б). Сравнительно длинные и менее жесткие детали, где возможно искривление оси, следует контролировать универсальными приборами, установленными на штативе или на стойке, базируя деталь по образующей на плоскости стола (рис. 2.1, в...е). Предполагаемая огранка исследуется на основе трехконтактной (в поперечном сечении детали) схемы контроля, для чего на стол штатива или стойки устанавливают призму, по двум образующим которой базируется контролируемая поверхность.

Такой же анализ проводят при выборе схемы измерения размеров внутренней гладкой цилиндрической поверхности, а также поверхностей других форм.

В лабораторных условиях, когда выполняется выборочный (статистический) контроль качества деталей, длительность измерений не является определяющим фактором. В этом случае продолжительность процесса измерения должна быть такой, что оператор может обеспечить правильное использование средств измерений, относительное ориентирование детали и прибора, оптимальные режимы считывания показаний и т.д.

Выбор средства для контроля каждого заданного параметра определяется решениями, принятыми при выборе поверхностей базирования. В зависимости от схемы базирования могут быть использованы накладные или станковые средства измерений. Вначале необходимо выбрать несколько конкурирующих средств измерений каждого параметра с тем, чтобы иметь возможность дальнейшей оптимизации контроля. При выборе средства измерения необходимо учитывать наличный парк средств измерений; возможность и рациональность применения одного средства для контроля ряда параметров в некотором диапазоне их значений; возможность использования однотипных средств и методик выполнения измерений. При необходимости выбора одной из нескольких методик выполнения измерений варианты операций технического контроля сравнивают по точности, производительности и экономической эффективности.

В случае, если выбор средства измерения произведен по РД 50-98-86, оценка погрешности измерений выполняется в соответствии с этим документом. При самостоятельном выборе средств измерений необходимо произвести аналитический расчет или экспериментальную оценку погрешности измерений, которая не должна превышать допустимого значения.

Расчеты производительности и экономической эффективности операций контроля затруднительны из-за отсутствия ряда данных: производительности технологического оборудования, необходимой доли контролируемых деталей, т. е. объема выборки, и др. Однако можно оценить сравнительную производительность операций контроля при использовании различных средств измерения, что является одним из обязательных условий расчета экономической эффективности вариантов. При этом следует учитывать также необходимую квалификацию оператора, стоимость выбранных средств измерений, их амортизацию и др. При выборе же оптимального варианта операции технического контроля в лабораторной работе можно ограничиться сравнительной оценкой производительности операций и квалификации оператора.

Так как в лабораторной работе предполагается измерение ряда размеров каждой поверхности детали, контролируемые размеры будут характеризоваться данными, которые удобно представлять в виде таблиц. Заключение о годности изделия по контролируемому параметру дают на основании сравнения результатов экстремальных значений измеренных размеров с наибольшим и наименьшим предельными размерами.

Лабораторная работа 1

Измерение размеров гладких наружных цилиндрических поверхностей

Ц е л ь р а б о т ы: выбор средства измерения размеров гладких наружных цилиндрических поверхностей и методики выполнения измерений; приобретение первичных навыков работы со средствами измерений.

З а д а ч и : 1. Проанализировать требования к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства ее приемочного контроля по заданным параметрам.

2. Измерить заданные параметры и зафиксировать результаты с учетом погрешности измерения.

3. Дать заключение о годности детали по каждому из контролируемых параметров.

Объект контроля: ступенчатый вал.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Накладные приборы: штангенциркуль; микрометр гладкий; микрометр рычажный; скоба индикаторная; скоба рычажная.

Станковые приборы: стойка или штатив с индикатором часового типа или другой рычажно-зубчатой головкой; стойка с микрокатером, оптикатером, трубкой оптиметра и др.

Меры и вспомогательные устройства: набор плоскопараллельных концевых мер; линейка лекальная; призмы; плита поверочная.

Методы измерений

Возможно использование метода непосредственной оценки при измерении размера штангенциркулем, гладким микрометром, а также метода сравнения с мерой при измерении индикаторной или рычажной скобой, измерительной головкой на стойке (настройка осуществляется по плоскопараллельным концевым мерам или аттестованной образцовой детали).

Выполнение измерений

Наиболее часто используют схему контроля наружной гладкой цилиндрической поверхности, представленную на рис. 2.1, а. Годность детали определяется по результатам шести измерений в трех сечениях по длине детали 1—1, 2—2, 3—3 в двух взаимно перпендикулярных направлениях А—А и В—В. При такой схеме измерения можно выявить конусообразность, седлообразность и бочкообразность, а также овальность поверхности. Значительно сложнее здесь выявить отклонение оси детали от прямолинейности и практически невозможно — огранку.

Реализация описанной схемы измерения возможна при определении диаметров детали (см. рис. 2.1, б) двухконтактным средством измерения (СИ) или расстояния от базы до измерительного наконечника одноконтактным СИ (см. рис. 2.1, в...е). При использовании двухконтактного СИ, как видно из схемы, отклонение оси детали от прямолинейности не выявляется. Для определения экстремальных значений размеров в случае таких погрешностей формы, как седлообразность или бочкообразность, следует уточнить методику выполнения измерений, например увеличить число наблюдений в сечениях, близких к сечению 2—2, перемещая прибор вдоль оси детали и принимая за окончательный результат измерения наибольшее (наименьшее) из наблюдаемых значений. Подобная процедура распространяется и на поиск экстремальных диаметров в поперечном сечении для выбора направлений А—А и В—В, что реализуется поворотом СИ вокруг оси детали.

Результаты измерений подчиняются зависимостям $d_{i, \min} \approx d_{\min}, d_{i, \max} \leq d_{\max}$ причем вторая из них превращается в равенство при условии отсутствия отклонения оси детали от прямолинейности.

При измерении расстояния от базовой плоскости до точки контакта с наконечником одноконтактного СИ отклонения от прямолинейности оси и обра-

зующих номинально цилиндрической поверхности оказывают весьма существенное влияние на результаты измерений (см. рис. 2.1, *в...е*). В этом случае для описания результатов измерения приемлемы следующие зависимости:

$$d_{i\min} \geq d_{\min}; d_{i\max} \approx d_{\max}$$

Но при такой схеме практически невозможно измерить наименьший диаметр в случае бочкообразности (см. рис. 2.1, *з,д*) и седлообразности (см. рис. 2.1, *е*) поверхности. При криволинейной оси детали (см. рис. 2.1, *в*) наименьший ее диаметр можно измерить только в отдельных случаях (например, при несовпадении плоскости с d_{\min} и плоскости изгиба детали на угол, близкий к 90°).

Для получения результатов, наиболее объективно характеризующих исследуемую наружную номинально цилиндрическую поверхность, необходимо применять как двухконтактные СИ (для измерения d_{\min}), так и одноконтактные (для измерения d_{\max}).

Операции по измерению размеров наружной гладкой цилиндрической поверхности можно охарактеризовать следующим образом: 1) определение $d_{i\min}$ и оценка отклонения образующих поверхности от прямолинейности с помощью двухконтактного СИ; 2) определение $d_{i\max}$ и оценка отклонения оси поверхности от прямолинейности с помощью одноконтактного СИ; 3) установление размеров детали в призме для определения ее огранки (при наличии огранки измеряется $d_{i\min}$).

При использовании любого СИ (см. п. 1 и 2) в методике следует дополнительно предусмотреть элементы поиска экстремальных диаметров в случае обнаружения овальности, бочкообразности или седлообразности поверхности.

Последовательность измерений может быть любой, удобной для конкретного случая. После осуществления каждой операции и по окончании всех измерений следует провести анализ результатов, при этом желательно идентифицировать положение каждого измеренного размера в системе координат, связанной с деталью.

В зависимости от результатов, полученных на разных этапах, методика выполнения измерений может быть скорректирована. В нее могут быть введены дополнительные элементы для оценки отклонений оси и образующей поверхности от прямолинейности (с использованием лекальной линейки, плиты, призм и т.д.) и отклонений от круглости (с помощью кругломера); в таких случаях определение максимального и минимального диаметров детали реализуется с учетом результатов контроля ее формы.

Измерение диаметра наружной гладкой цилиндрической поверхности с помощью станковых приборов осуществляется следующим образом: прибор настраивается на нуль по образцовой детали или блоку плоскопараллельных концевых мер длины, измеряется размер в определенном сечении (фиксируется "точка возврата", характеризующая максимальный размер при плоскопараллельном перемещении контролируемой детали перпендикулярно линии измерения; снимается отсчет и производится алгебраическое суммирование полученного отклонения с настроенным размером). По окончании измерений размеров при одной фиксированной настройке прибора с помощью установочной меры проверяют, не сбилась ли настройка на нуль, и в случае необходимости измерения повторяют.

При использовании накладных приборов типа штангенциркуля или микрометра предварительно проверяют нулевое показание прибора, затем измеряют размер в определенном сечении (накладной прибор с плоскими губками сам устанавливается относительно контролируемой поверхности). По окончании измерений таким прибором заново проверяют его нулевое показание.

При несоответствии начального показания прибора нулю осуществляется его настройка, если это предусмотрено конструкцией прибора. В противном случае в показания прибора вносится поправка, модуль которой равен начальному показанию прибора, но с противоположным ему знаком.

Оформление результатов измерений

Предпочтительно составлять таблицу, соответствующую количеству измеренных размеров каждой контролируемой наружной цилиндрической поверхности детали. Например, при шести измерениях она может иметь форму табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Направление измерения	Размеры, мм, в сечении		
	1-1	2-2	3-3
A-A			
B-B			

В таблице или в примечаниях к ней указывают погрешность измерения по типу: $\Delta = \pm 0,01 \text{ мм}$, $P = 0,95$.

Порядок выполнения работы

1. Провести анализ требований к точности параметров детали, подлежащих контролю.

2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) размеров каждой поверхности (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, метод поиска экстремальных сечений и др.).

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

4. Выполнить измерения размеров каждой контролируемой поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.

5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить результаты измерений с предельными размерами. Дать заключение о годности детали по каждому из контролируемых параметров.

6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 2

Выбор средств измерений и контроль размеров гладких внутренних цилиндрических поверхностей

Ц е л ь р а б о т ы: выбор средства и методики измерения размеров гладких внутренних цилиндрических поверхностей; приобретение навыков работы со средствами измерений.

З а д а ч и: 1. Проанализировать требования к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства ее приемочного контроля по заданным параметрам.

2. Измерить заданные размеры и зафиксировать результаты с учетом погрешности измерения.

3. Дать заключение о годности детали по каждому из контролируемых параметров.

Объект контроля: цилиндрическая деталь (втулка) с гладким или ступенчатым отверстием.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Накладные приборы: штангенциркуль; нутромер микрометрический; нутромер индикаторный.

Станковые приборы: оптиметр горизонтальный; длиномер горизонтальный; стойка или штатив с индикатором рычажно-зубчатым или часового типа, миникатором и т.д.

Меры и вспомогательные устройства: набор плоскопараллельных концовых мер длины и набор принадлежностей к ним; рычаг измерительный к индикатору; призмы; плита поверочная.

Методы измерений

Возможно использование метода непосредственной оценки при измерении размера штангенциркулем, нутромером микрометрическим, длиномером горизонтальным, а также метода сравнения с мерой при использовании нутромера индикаторного, оптиметра горизонтального и т. д.

Выполнение измерений

Если позволяют применяемые СИ и габариты измеряемого отверстия, используют традиционную схему измерений (см. рис. 2.1, а), получая при этом шесть результатов. При малой длине отверстия ограничиваются измерениями в двух или в одном поперечном сечении, получая соответственно четыре или два результата. Для оценки погрешностей формы детали измеряют экстремальные значения диаметров в продольных и поперечных ее сечениях.

При необходимости контроля отклонения образующих или оси детали от прямолинейности ее устанавливают на плите или в призмах так, чтобы ось отверстия была приблизительно параллельна плите. Затем измеряют ординаты точек образующих поверхности отверстия относительно плиты, используя для этого прибор бокового действия (ИРБ, миникатор) или измерительную головку с рычагом. Контроль положения точки образующей поверхности отверстия в определенном его поперечном сечении осуществляется при относи-

тельных перемещениях детали и измерительного наконечника в направлении, перпендикулярном к оси отверстия; экстремальные показания прибора фиксируют по "точке возврата" (минимальная ордината для нижней образующей или максимальная — для верхней). Ордината оси сечения определяется как полусумма ординат образующих в этом сечении отверстия.

В случае использования метода непосредственной оценки проверяют нулевое показание прибора и настраивают его на нуль либо определяют поправку к его показаниям. По окончании измерений убеждаются в том, что первоначальная настройка прибора не изменилась.

При измерениях методом сравнения с мерой прибор настраивают на нуль по установочной мере, в качестве которой используются аттестованное кольцо, блок плоскопараллельных концевых мер длины с боковиками, закрепленный в струбине, и т.д. По окончании измерений при одной фиксированной настройке прибора проверяют, сохранилась ли настройка на нуль, и в случае необходимости повторяют измерения.

Оформление результатов измерений

Результаты измерений внутренней цилиндрической поверхности можно представить, например, в форме табл. 2.2.

Таблица 2.2

Направление измерения	Размеры, мм, в сечении		
	1-1	2-2	3-3
A-A			
B-B			

В таблице или в примечаниях к ней указывают погрешность измерения по типу: $\Delta = \pm 0,02$ мм, $P = 0,95$.

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.

2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) размеров каждой поверхности (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, метод поиска экстремальных сечений и др.).

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

4. Выполнить измерения размеров каждой контролируемой поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.

5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить результаты измерений с предельными размерами. Дать заключение о годности детали по каждому из контролируемых параметров.

6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 3

Контроль размеров гладких поверхностей предельными калибрами

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов контроля предельных размеров гладких поверхностей и методики выполнения контрольных операций с помощью калибров.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, назначить методы и средства приемочного контроля заданных предельных ее размеров.

2. Осуществить контроль заданных параметров детали и зафиксировать результаты контроля.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.

О б ъ е к т к о н т р о л я: ступенчатая втулка с несколькими наружными и внутренними цилиндрическими поверхностями.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Накладные приборы: микрометры гладкие.

Меры и вспомогательные устройства: калибры рабочие предельные жесткие; калибры рабочие предельные регулируемые; калибры контрольные; плоскопараллельные концевые меры длины и принадлежности к ним.

Выполнение измерений

Если для поверхности задано поле допуска размера, нормированы предельные контуры детали, контролю подлежат два фактических размера каждой поверхности: проходной предел, определяемый прилегающей поверхностью, и непроходной предел в некотором сечении реальной поверхности, соответствующий минимуму объема (массы) материала.

Поэтому контроль предельных размеров должен осуществляться двумя калибрами. Проходной калибр является аналогом прилегающей поверхности и обеспечивает комплексный контроль. При положительном результате (прохождение калибра) гарантируется собираемость проконтролированной детали с сопрягаемой.

Непроходной калибр должен обеспечить нахождение в любом месте контролируемой поверхности детали размера, не соответствующего непроходному пределу, где материал детали меньше допустимого минимума. Следовательно, поверхность непроходного рабочего калибра должна обеспечивать контакт калибра с деталью, близкий к точечному, контроль следует осуществлять поэлементно, так, чтобы отыскать размер поверхности, не соответствующий непроходному пределу. Положительный результат контроля (непрохождение калибра) говорит об отсутствии размеров, выходящих за непроходной предел, а следовательно, и неисправимого брака.

При наличии рабочих проходных калибров, соответствующих по маркировке контролируемым размерам, последовательно используются проходной и непроходной калибры. Прохождение или непрохождение калибра проверяется приложением его собственного веса. Калибром неполного профиля (скобой, неполной пробкой) контролируют деталь в некотором выбранном количестве сечений.

При отсутствии рабочих калибров для одной или нескольких поверхностей их можно заменить, например, регулируемыми калибрами-скобами или гладкими микрометрами, настроенными по плоскопараллельным концевым мерам длины или по контрольным калибрам. Калибры-пробки (неполные) и калибры-скобы можно также собрать из плоскопараллельных концевых мер длины и принадлежностей к ним. При этом размер скобы равен размеру блока концевых мер, зажатому между боковиками, а размер неполной пробки включает как размер блока, так и размеры радиусных боовиков, которые устанавливаются цилиндрическими поверхностями наружу.

Блок концевых мер следует собирать из минимального количества мер, чтобы уменьшить число составляющих погрешностей измерений из-за неточностей каждой меры и их соединения. Рекомендуется составлять блок "с конца", когда меры подбирают по последним цифрам размера с тем, чтобы освободиться от возможно большего количества разрядов. Например, необходимо набрать блок 78,694 мм, используя набор мер с градацией через 0,01 мм и одной мерой 1,005 мм. Сначала надо округлить размер до 78,695 мм, так как в противном случае данным набором мер блок не реализуется. Первая концевая мера в наборе — 1,005 мм, остаток — 77,69 мм. Следующая мера может быть выбрана из ряда 1,09 мм, 1,19, 1,29, 1,39, 1,49 мм. Следует выбрать меру 1,19 мм, как дающую окончание в остатке 76,5 мм, третья мера — 6,5 мм, а четвертая равна остатку — 70 мм. Расчет блока концевых мер можно представить в краткой форме:

78,695	
1,005	I мера
77,69	
1,19	II мера
76,5	
6,5	III мера
70	IV мера

Правила использования калибров-скоб предельных регулируемых, калибров-скоб из микрометров, а также калибров из концевых мер длины и принадлежностей к ним — общие.

Оформление результатов измерений

Результаты контроля неполными пробками и скобами можно представить в форме табл. 2.3.

Таблица 2.3

Направление измерения	Прохождение калибров-скоб при контроле сечений поверхности							
	проходной стороной				непроходной стороной			
	1-1	2-2	3-3	...	1-1	2-2	3-3	...
A-A	+	+	+		-	-	-	
B-B	+	+	+		-	-	-	

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
2. Выбрать предварительную методику контроля каждого параметра (схему контроля, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, метод поиска экстремальных сечений и т.д.).
3. Проконтролировать размеры каждой заданной поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты контроля представить в табличной форме.
4. Выполнить анализ результатов измерений, дать заключение о годности детали по каждому из контролируемых параметров.
5. Оформить отчет о лабораторной работе.

2.2. НОРМИРОВАНИЕ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

2.2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля количественно оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю).

Прилегающая поверхность имеет форму номинальной поверхности, соприкасается с реальной поверхностью и расположена вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

Условие минимального отклонения в наиболее удаленной точке не распространяется на прилегающие окружности и цилиндры, где для наружных прилегающими будут описанный цилиндр или окружность минимального диаметра, а для внутренних — вписанный цилиндр или окружность максимального диаметра (рис. 2.2).

Отклонение расположения — отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения.

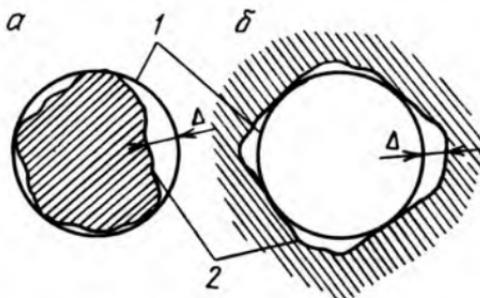
При оценке отклонений расположения отклонения формы рассматриваемых и базовых элементов должны исключаться из рассмотрения. При этом реальные поверхности (профили) заменяются прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей или профилей принимаются оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

Для нормирования отклонений формы и расположения поверхностей установлено 16 степеней точности, номера которых возрастают в порядке уменьшения точности (ГОСТ 24643—81).

Выбор допусков при заданной степени точности производится в зависимости от длины нормируемого участка, если же она не задается, — исходя из длины поверхности (допуски плоскостности, прямолинейности, параллельности, перпендикулярности) или в зависимости от номинального диаметра поверхности (допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения и т.д.).

Рис. 2.2. Отклонение от круглости:

a — Δ вала; *б* — Δ отверстия;
1 — прилегающий профиль;
2 — реальный



Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения, плоскостности, прямолинейности и параллельности назначаются в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера. В зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы и расположения устанавливаются следующие уровни относительной геометрической точности: *A* — нормальная относительная геометрическая точность (для допуска формы или расположения — примерно 60 % от допуска размера); *B* — повышенная относительная геометрическая точность (для допуска формы или расположения — примерно 40 % от допуска размера); *C* — высокая относительная геометрическая точность (для допуска формы или расположения — примерно 25 % от допуска размера).

2.2.2. ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ

При измерении отклонений от прямолинейности и от плоскостности плоских поверхностей необходимо выполнить сначала операции по воспроизведению исследуемой линии или поверхности, затем графическое построение и произвести дополнительные вычисления.

Для воспроизведения измеряемой линии или поверхности необходимо иметь реальный исходный профиль или поверхность. В зависимости от того, каким способом они задаются, все приборы для измерения отклонений от прямолинейности и от плоскостности можно разделить на: механические; пневматические; гидростатические; оптико-механические.

При измерении отклонений от прямолинейности и плоскостности широко применяют различные механические устройства, в которых носителем исходных прямых, относительно которых определяют отклонения, являются поперечные линейки, плиты, натянутая струна и пр. При измерении отклонений от прямолинейности сличением с поперочной линейкой (рис. 2.3, *a*) на исследуемой поверхности *1* располагают две плоскопараллельные концевые меры длины *2* (ГОСТ 9038—83) с одинаковым номинальным размером, на которые устанавливают поперочную линейку *3*. Концевая мера *4* имеет меньший номинальный размер, и поэтому между ней и рабочей поверхностью линейки образуется просвет. Перемещая по изделию концевую меру *4*, измеряют просвет с помощью щупов (ГОСТ 882—75), образцов просвета или измерительных микроскопов, а по изменению соответствующей величины судят об отклонении от прямолинейности.

Вместо концевой меры могут быть использованы измерительные головки *5* на штативе, установленные на поперочной плите *б* (рис. 2.3, *б*). Головку пе-

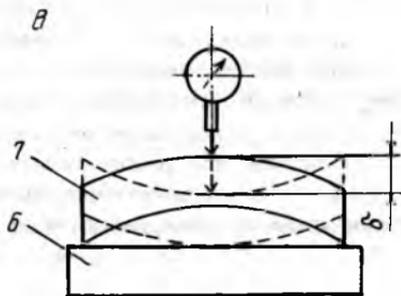
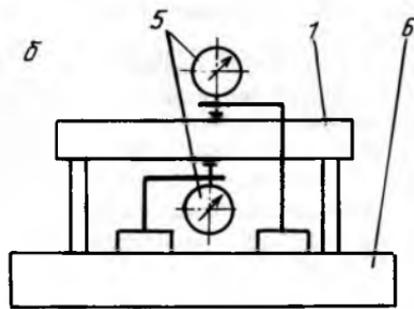
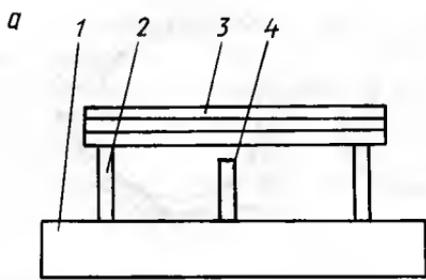


Рис. 2.3. Измерение отклонений от прямолинейности:

а — сличением с поверочной линейкой; б — с использованием измерительной головки; в — вращением цилиндрической детали на поверочной плите

ремещают относительно исследуемой поверхности 1, производя при этом отсчет по шкале (рекомендация СЭВ РС 5384–76).

Измерение отклонений оси от прямолинейности осуществляют при вращении детали 7 на поверочной плите 6 (рис. 2.3, в). Отклонение δ равно размаху показаний измерительной головки. Схема используется в случае, когда отклонения от круглости пренебрежимо малы.

Для измерения отклонений от плоскостности используют устройства, обеспечивающие создание исходной плоскости, относительно которой и производится измерение. Так, в накладном измерительном устройстве (рис. 2.4, а) на исследуемой поверхности 1 установлены на регулируемых опорах 5 две поверочные линейки 2. Уровнем 4 и поперечной линейкой 3 ориентируют рабочие поверхности линеек 2 в одной плоскости, которая и является базой при измерениях. На поверхности изделия устанавливают штатив 6 с закрепляемой на нем измерительной головкой 7, наконечник которой при измерениях касается образцовой поверхности линейки. Перемещая штатив 6 с измерительной головкой и поперечную линейку 3, получают информацию об отклонениях.

В плоскомерах (рис. 2.4, б) измерительная головка 7, шарнирно закрепленная на карусели 8, может свободно вращаться вокруг колонны 9. Плоскость движения измерительной головки является исходной. Для обеспечения параллельности исходной плоскости и поверхности изделия положение колонны с основанием 11, устанавливаемой на исследуемой детали 12, регулируется винтами 10. Отклонение от плоскостности определяется как наибольший размах показаний измерительной головки, последовательно перемещаемой по детали 12.

В устройствах с аэростатическим базированием в качестве исходной ис-

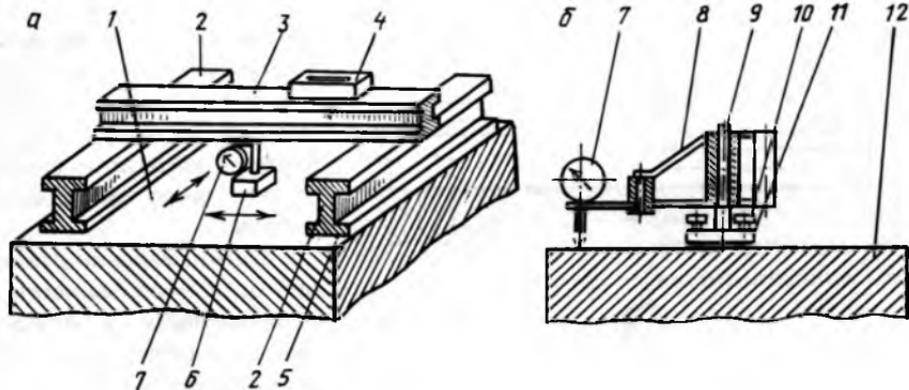


Рис. 2.4. Измерение отклонений от плоскостности:
 а — накладными средствами измерений; б — с помощью плоскомера

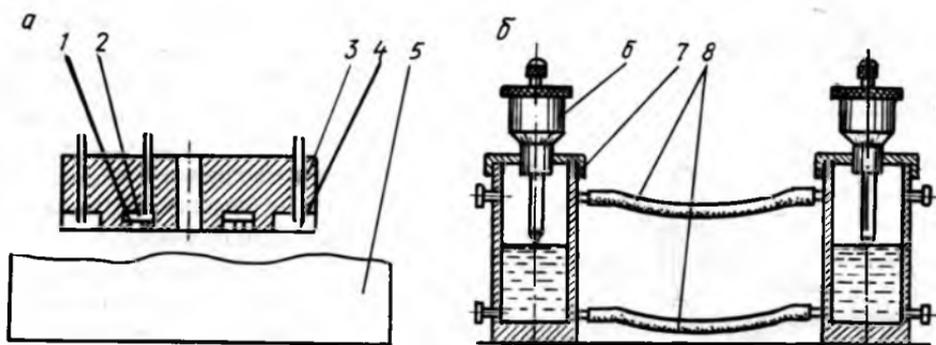


Рис. 2.5. Устройства для контроля плоскостности:
 а — пневматическое; б — гидравлическое

пользуют среднюю плоскость исследуемой поверхности. Основой устройства (рис. 2.5, а) является измерительный диск 3, накладываемый на проверяемую деталь 5. При подаче стабилизированного давления p_0 в камеры 2 и истечении сжатого воздуха через базирующие сопла 1 между поверхностями детали и измерительного диска образуется зазор. Отклонения от плоскостности воспринимаются пневматическим преобразователем через измерительные сопла 4 при перемещении измерительного диска относительно изделия. Пневматическая система измерительной цепи содержит показывающий прибор с ценой деления 1 мкм.

К гидростатическим относят приборы, у которых исходной плоскостью или линией является плоскость или линия, заданная горизонтальной поверхностью жидкости. Отклонения от прямолинейности и плоскостности в данном случае измеряются гидростатическими уровнями, микронивелирами.

В закрытых гидростатических уровнях исходная плоскость реализуется поверхностью жидкости в нескольких сообщающихся сосудах. Уровень (рис. 2.5, б) содержит две или несколько измерительных головок 7, соединенных между собой шлангами 8 и оснащенных микрометрическими винтами 6. При

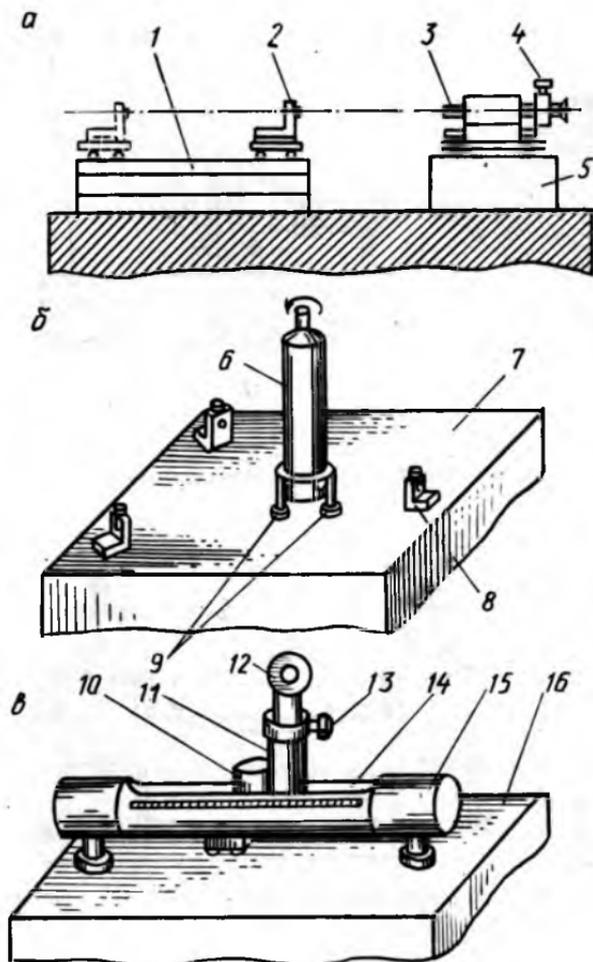


Рис. 2.6. Оптико-механические средства контроля плоскости:

а — автоколлиматор с зеркалом; б — оптическая струна; в — оптическая линейка

кой оси зрительной трубы, затем полученные данные пересчитывают в отклонения от прямолинейности или плоскости. В приборах, работающих по методу визирования, измеряют расстояние от исследуемой поверхности до оптической оси трубы.

Труба 3 автоколлиматора закрепляется на жестком массивном основании 5 рядом с изделием 1 (рис. 2.6, а). Затем устанавливают зрительную трубу под углом 90° к плоскости зеркала 2. Световое изображение марки автоколлиматора, отразившись от зеркала 2, будет при этом наблюдаться в окуляре 4. При наклоне зеркала на угол α в процессе перемещения его по изделию отраженный луч возвращается в автоколлиматор под углом 2α , что вызывает смещение изображения наблюдаемой в объекте марки. Угловое смещение зеркала определяют с помощью компенсатора.

измерениях головки 7 устанавливают в проверяемых точках изделия, вращением микровинтов добиваются касания их острия поверхности жидкости и снимают показания со шкал микро-винтов.

При измерении отклонений от прямолинейности или плоскости с помощью индуктивного уровня, уровня с ампулой или микро-нивелира определяют углы наклона к горизонтали отдельных участков поверхности. Полученные данные пересчитывают в линейные величины, а отклонение определяют относительно прилегающих прямых или плоскостей графически. Погрешности измерений составляют $0,003 \dots 0,005$ мм.

Оптико-механические приборы, в которых в качестве исходной прямой используется луч света, по виду измеряемого параметра подразделяют на автоколлимационные и визирные (РС 5384—76). В автоколлимационных приборах измеряют углы наклона отдельных участков поверхности изделия относительно оптической

При проверке протяженных поверхностей или на расстоянии от них более 10 м следует вводить температурную поправку, учитывающую искривление луча света.

К оптико-механическим приборам, работающим по методу визирования, относят зрительные трубы, оптические струны, оптические плоскомеры. Измерение отклонений от прямолинейности зрительными трубами и оптической струной также осуществляют с помощью марок, перемещаемых по изделию. Визирную ось трубы при этом устанавливают параллельно прямой или плоскости, проходящей через две (при измерении отклонений от прямолинейности) или три (при измерении отклонений от плоскостности) крайние точки исследуемой поверхности.

Марки 8 оптического плоскомера (рис. 2.6, б) снабжены освещаемой точечной диафрагмой. Параллельность плоскости поворота оптической оси плоскомера исследуемой поверхности обеспечивают регулировкой трех опор 9 визирной трубы 6 прибора, добиваясь совпадения этой плоскости с тремя визирными марками 8, которые располагаются по периферии исследуемой поверхности. Перемещая по изделию марку и наблюдая в окуляр положение ее светящейся точечной диафрагмы, по шкале оптического микрометра, установленного на визирной трубе 6, определяют вертикальное смещение марки 8 на объекте 7 и отклонение от плоскостности.

При монтаже или изготовлении крупногабаритных изделий используют контрольно-юстировочные оптико-механические установки с лазерным излучателем (ОСТ 1.51-697—73...ОСТ 1.51-726—73). Отклонение от прямолинейности определяют с помощью позиционно-чувствительных целевых знаков. При использовании в качестве целевого знака фотоприемника, состоящего из четырех p - n -переходов на единой полупроводниковой пластине, пороговая чувствительность по перемещению составляет сотые доли микрометра при радиусе пучка лазера 10 мм.

Оптические линейки (рис. 2.6, в) состоят из двух основных частей: корпуса оптической линейки (цилиндра 15 с продольной прорезью 14 и оптической системой), являющегося носителем базовой прямой, и измерительной каретки 11 с источником света 10 и окуляром 12.

С помощью каретки измеряют расстояние от базовой прямой до контролируемой поверхности 16. Каретку 11 располагают последовательно с одной, а затем с другой стороны измеряемой детали, совмещая в поле зрения окуляра каретки визирный штрих и биссектор, чем обеспечивают параллельность базовой прямой и исследуемой поверхности. Затем производят измерение отклонений, совмещая каждый раз визирный штрих с биссектором и считывая показания со шкалы окулярного микрометра 13 каретки. При большой (более 600...800 мм) длине исследуемых поверхностей измерения с помощью оптических линеек следует производить шаговым методом. Погрешности измерений могут возникать в результате неточности наведения биссектора на визирный штрих, нестабильности контакта измерительного наконечника с исследуемой поверхностью, непараллельности оптической оси и поверхности детали, расфокусировки объективов оптической оси.

Оптические методы измерения отклонений от плоскостности основываются на применении принципа интерференции, т.е. получении интерференционной картины исследуемой поверхности и оценке отклонений ее от плоскост-

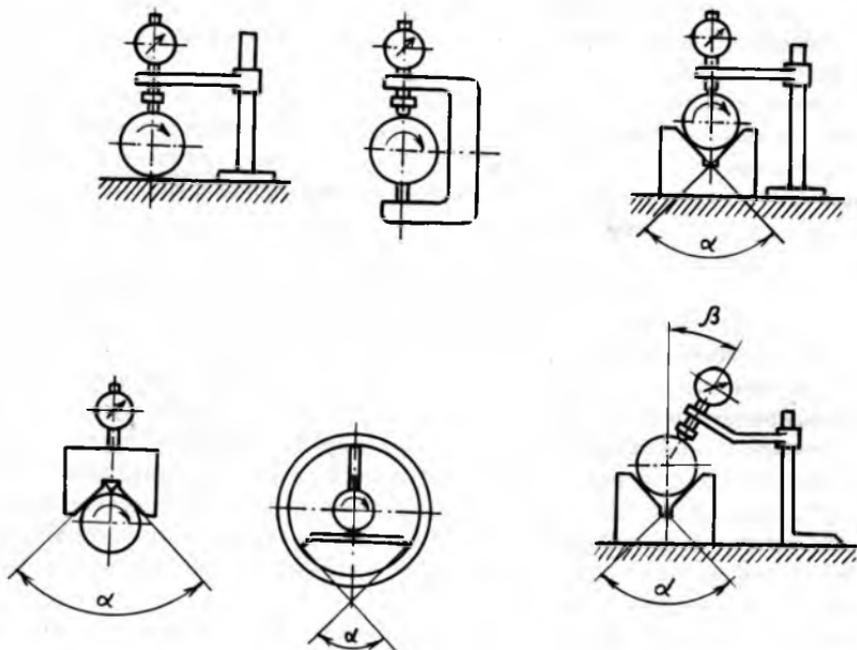


Рис. 2.7. Схема измерения отклонений от круглости

ности по ширине полос. Большим преимуществом таких измерений является то, что они исключают пропуск местных отклонений, так как рассматривается сразу вся проверяемая поверхность. Для контроля небольших деталей (концевых мер длины, калибров, измерительных плоскостей микроскопов и др.) применяют плоскопараллельные стеклянные пластины. Отклонение от плоскостности оценивается по числу и форме интерференционных полос, наблюдаемых при наложении стекла на исследуемую поверхность.

При определении отклонений от круглости используются два способа измерений: косвенный, при котором определяется разность расстояний последовательно выбранных точек исследуемого изделия от базы; прямой, основанный на измерении радиуса-вектора тела вращения в сечении, перпендикулярном к его оси (измеряются не абсолютные значения радиуса, а его отклонения от некоторого постоянного значения, принятого за исходное).

При контроле круглости косвенные измерения конструктивно реализуются с помощью разнообразных комбинаций призм и измерительных головок. Схемы измерения отклонений от круглости показаны на рис. 2.7. Параметрами приборов являются угол α , образованный гранями призмы, и угол β между биссектрисой угла α и направлением оси измерительного наконечника.

Наиболее распространенными являются приборы, у которых угол α равен 60° , 90° или 120° а направление измерения совпадает с биссектрисой угла призмы ($\beta = 0$). Все эти приборы трехконтактные. В особую подгруппу можно выделить универсальные призмы с переменным углом раскрытия (рис. 2.8, б). В такой призме могут быть использованы, например, диски, по периферии которых выполнены призматические пазы с разным углом α . Для перена-

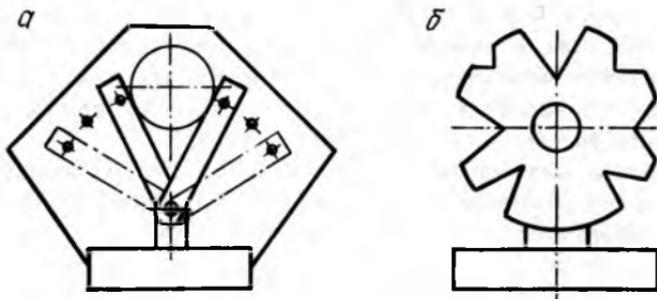


Рис. 2.8. Призмы с переменным углом

ладки приборов достаточно повернуть диски так, чтобы паз с нужным углом раскрытия оказался в верхнем положении, и закрепить их фиксаторами. При этом биссектриса паза будет перпендикулярна к плоскости основания прибора. В другой конструкции универсальной призмы (рис. 2.8, а) применены штанги, имеющие возможность поворачиваться вокруг общей горизонтальной оси. Призма образуется обращенными друг к другу рабочими плоскостями штанг.

Принимая в схеме трехконтактного прибора $\alpha = 180^\circ$, получим двухконтактный прибор, являющийся частным случаем трехконтактного.

Особенность косвенных измерений состоит в следующем. Если считать, что профиль детали является периодической кривой синусоидальной формы, причем на окружности укладывается n периодов отклонений, показания прибора Δ будут связаны со значениями некруглости Δ_r уравнением

$$\Delta = k \Delta_r,$$

где k — коэффициент пропорциональности, называемый обычно коэффициентом воспроизведения: $k = f(\alpha, \beta, n)$.

Каждый конкретный прибор с фиксированными значениями α и β характеризуется разными коэффициентами воспроизведения для разных гармонических составляющих формы профиля проверяемой детали. Соответственно, при изменении вида некруглости проверяемой детали этот коэффициент меняется в широких пределах, причем в ряде случаев он может быть равным нулю.

Поскольку обычно профиль детали не является геометрически правильным, а представляет собой сумму различных гармонических кривых, отличающихся друг от друга периодами, амплитудами и фазами, установление зависимости между Δ и Δ_r является сложной математической задачей. По непосредственным результатам проверки двух- или трехконтактным прибором судить о степени круглости детали можно лишь весьма приближенно. Применять эти приборы для оценки круглости можно в случаях: 1) если расчетным или экспериментальным путем установлено, что погрешность, возникающая при замене действительного значения отклонения от круглости показанием основанного на косвенном методе измерения прибора, существенно меньше допуска на круглость детали; 2) если измерение проводится путем сравнения проверяемой детали с образцовой, по которой прибор настраивается, а отклонения нормируются непосредственно в виде показаний данного конкретного прибора.

Последний прием удобен для использования в массовом производстве. Этим обстоятельством, а также конструктивной простотой, легкостью автоматизации и высокой производительностью трехконтактных приборов объясняется их широкое распространение в таких отраслях, как подшипниковая промышленность, автомобиле- и тракторостроение.

В настоящее время применяют два способа конструктивной реализации прямых измерений отклонений от круглости – сравнение с образцовой поверхностью и использование прецизионного вращения.

Проверка по образцовой поверхности заключается в сравнении измеряемой детали с подобной ей образцовой, погрешности формы которой настолько малы по сравнению с допустимой погрешностью измерения, что ими можно пренебречь. На рис. 2.9 показано, как образцовую и исследуемую поверхности можно сравнить с помощью электроиндуктивных измерительных головок, включенных в дифференциальную схему. Проверяемый вал устанавливается на опоры, а к торцу его крепится кольцо, наружная поверхность которого выполнена с пренебрежимо малыми отклонениями формы. Одна из измерительных головок контактирует с валом в проверяемом сечении, а вторая – с поверхностью кольца. В процессе измерения деталь вместе с кольцом вращается на опорах. Сигналы измерительных головок подаются через усилители в блок сравнения, а результирующий сигнал, пропорциональный разности сигналов первой и второй измерительных головок, поступает на отсчетный или регистрирующий прибор.

К проверке по образцовой поверхности обычно относят также известные способы контроля "на краску" и интерференционные способы измерения погрешности формы. Строго говоря, эти измерения не являются проверкой круглости, так как контролируется не отдельное сечение детали плоскостью, а вся ее поверхность или значительный участок поверхности.

Проверка "на краску" возможна лишь в том случае, если размеры исследуемой и образцовой поверхностей одинаковы или очень близки. Как правило, этот способ применяется при изготовлении парных деталей, предназначенных для работы в сопряжении, где важно обеспечить их взаимное прилегание. Примером может служить производство сферических шарниров или конусных калибров. Проверка "на краску" характеризует только площадь и характер контакта поверхностей, количественно оценить отклонения формы деталей таким способом нельзя.

Интерференционные способы используются при контроле небольших деталей, проверяемые поверхности которых имеют малую шероховатость и обладают хорошей отражательной способностью. В оптической промышленности принята интерференционная проверка по парному стеклу прецизионных деталей типа линз; в приборостроении по парным стеклам контролируют детали высокоточных сферических подшипниковых опор. Однако применение этого метода оправдано лишь в условиях серийного производства, так как изготавливать парное стекло для проверки одной-двух деталей невыгодно.

Более универсальными являются оптические интерферометры для контроля круглости. В приборах этого типа одна и та же образцовая поверхность используется для исследования ряда однотипных поверхностей, значительно отличающихся друг от друга размерами. Примером могут служить приборы, схемы которых изображены на рис. 2.10. Первый из них (рис. 2.10, а) предназ-

начен для контроля круглости отверстий во втулках. Образцовой поверхностью является поверхность доведенного конуса *б*, расположенного внутри проверяемого отверстия. Световые лучи от источника *5* проходят через коллимационный объектив *4*, параллельным пучком падают на полупрозрачную пластину *3* и разделяются ею на два пучка. Первый пучок падает на поверхность конуса *б* и отражается от нее на поверхность отверстия, затем — обратно на конус, вновь проходит через пластину *3* и попадает в поле зрения окуляра *2*. Второй пучок проходит через пластину и попадает на зеркало *1*, отражается

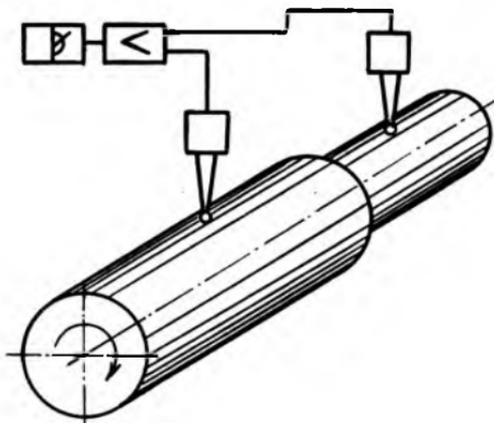


Рис. 2.9. Контроль круглости по образцовой поверхности

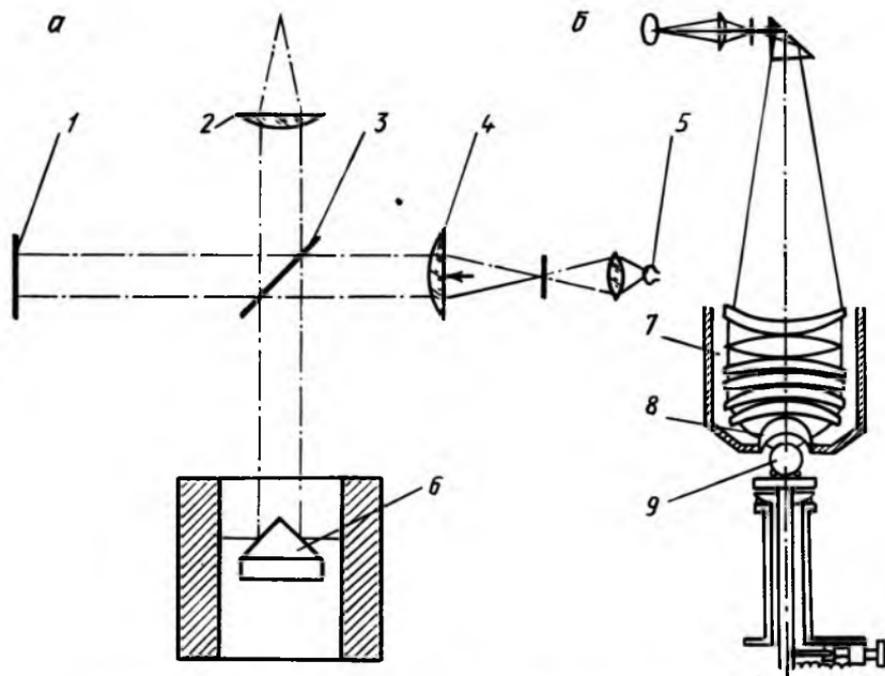


Рис. 2.10. Интерференционные средства контроля круглости

им опять на пластину и затем повторяет путь первого пучка. Оба пучка интерферируют в поле зрения окуляра. Если поверхность отверстия проверяемой втулки идеально круглая, интерференционная картина, наблюдаемая в окуляре, будет состоять из круглых концентрических колец. Погрешности формы отверстия вызывают искажение формы интерференционных колец, и по этим искажениям можно определить отклонение детали от круглости.

Второй прибор (рис. 2.10, б) предназначен для проверки сферичности шаров диаметром от 3,2 до 25 мм. Проверяемый шар 9 на подставке помещается под сложный объектив 7, имеющий на торце сферическую вогнутую линзу 8, поверхность которой, обращенная к шару, принимается за образцовую. Как и в рассмотренном выше приборе, отклонения шара от круглости оценивают по некруглости интерференционных колец.

Существуют и другие модели интерференционных приборов для контроля шариков, отличающиеся от рассмотренных оптической схемой и конструкцией механических узлов. Некоторые из них позволяют проверять при одной установке детали лишь сравнительно небольшие участки поверхности, другие — сразу половину сферы шарика. В ряде моделей предусматривается возможность наряду с проверкой отклонений формы измерять интерференционным способом диаметры контролируемых шаров. Однако во всех случаях назначение приборов этого типа остается узкоспециализированным.

Более точными и универсальными приборами для определения отклонений от круглости являются кругломеры, где при относительном прецизионном вращении измерительного наконечника и контролируемой поверхности отклонения записываются на диаграммном диске или ленте.

По принципу работы измерительных систем кругломеры могут быть электромеханическими, индуктивными и пневматическими. Перед измерением деталь центрируют относительно оси вращения. Сигналы измерительной головки, предварительно усиленные и записанные в полярных координатах, представляют собой круглограмму (профилограмму), сравнение которой с прилегающей окружностью позволяет оценить отклонение проверяемой детали от круглости. Прилегающая окружность может быть проведена с помощью циркуля или шаблона — прозрачной пластины с нанесенными на ней концентрическими окружностями. Шаблон накладывают на круглограмму и перемещают его до тех пор, пока одна из окружностей шаблона не займет положение прилегающей. Тогда наибольшее расстояние Δ (рис. 2.11) от контура круглограммы до прилегающей окружности (штриховая линия) с учетом коэффициента усиления прибора будет характеризовать отклонение исследуемой детали от круглости.

Для исследования причин возникновения погрешностей формы, а также для анализа характера отклонений формы исследуемых объектов в электрической схеме кругломеров предусмотрены частотные фильтры. Свойства фильтров характеризуются числом сигналов, пропускаемых фильтром за один оборот детали. При исследовании отклонений от круглости следует пользоваться низкочастотным фильтром; изучение волнистости и шероховатости проводят при подключении фильтра, пропускающего максимальное число сигналов при контроле детали.

Отклонение вала от круглости можно измерить в кольце (рис. 2.12), диаметр которого равен диаметру прилегающей окружности. Это условие выпол-

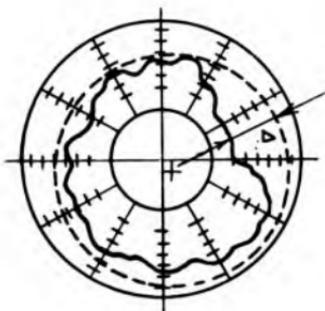


Рис. 2.11. Круглограмма

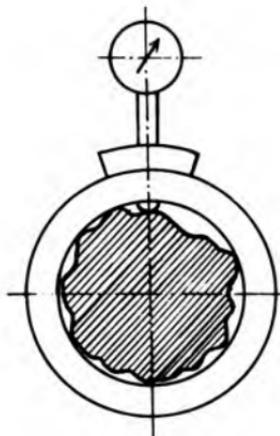


Рис. 2.12. Контроль круглости в кольце

няется с помощью набора колец разных диаметров. Вместо набора колец можно применять разжимное кольцо, а в недоступных местах (например, шейки коленчатого вала) — разрезное. Индикатор, установленный в кольце, позволяет сравнивать профиль сечения вращаемой детали с траекторией точно го кругового движения, задаваемой внутренней поверхностью кольца.

2.2.3. ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Отклонения плоскостей от параллельности и перпендикулярности. Измерение отклонений плоскостей от параллельности должно производиться между прилегающими плоскостями в соответствии с ГОСТ 24642—81. Нахождение прилегающих плоскостей требует предварительного определения отклонений от плоскостности контролируемых поверхностей и построения их рельефа. Ввиду сложности такое измерение осуществляется редко (при исследованиях или арбитражном контроле).

Практически прилегающую плоскость воспроизводят с помощью плоскости, проходящей через три максимально удаленные друг от друга точки поверхности, не лежащие на одной прямой, или плоскости поверочной плиты. Воспроизведение прилегающей плоскости "плоскостью трех точек" предпочтительнее, так как угловая ошибка при контроле плоскостности от этих же точек минимальна и разделяются отклонения формы (отклонения от плоскостности) и расположения (отклонения от параллельности).

Прилегающая плоскость воспроизводится у базовой реальной поверхности. Отклонение от параллельности оценивают по крайним точкам реальной поверхности. При этом вносится погрешность вследствие неточности воспроизведения прилегающих плоскостей.

Если измерения проводят при помощи измерительных прокладок, деталь 1 (рис. 2.13) устанавливают базовой плоскостью на плите 3 на три одинаковые прокладки 2 с жестким требованием к рабочему размеру (концевые меры). Прокладки 2 располагают так, чтобы они не лежали на одной прямой и были максимально удалены друг от друга. При помощи измерительной головки 5,

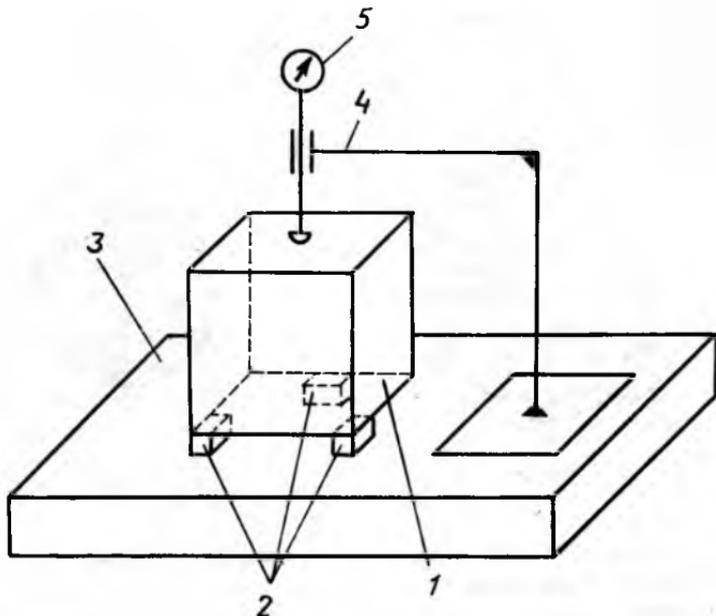


Рис. 2.13. Контроль параллельности плоскостей с помощью измерительных прокладок

закрепленной на штативе 4, снимают показания в крайних (угловых) точках верхней (отсчетной) плоскости или в крайних (угловых) точках заданной в этой плоскости площадки. Разность максимального и минимального показаний, снятых в точках отсчета, составляет искомое отклонение базовой плоскости детали от параллельности.

Измерения при помощи плиты рекомендуются для деталей, у которых отклонение базовой плоскости от плоскостности имеет характер вогнутости, т. е. когда все точки рельефа расположены по одну сторону ("и в тело детали") относительно плоскости, проходящей через три максимально удаленные друг от друга точки.

Деталь устанавливают на плиту базовой плоскостью. При помощи измерительной головки, закрепленной на штативе, снимают показания в крайних (угловых) точках верхней (отсчетной) плоскости или в крайних (угловых) точках заданной в этой плоскости площадки. Разность максимального и минимального показаний, снятых в точках отсчета, составляет искомое отклонение плоскости детали от параллельности базовой.

При измерениях с помощью координатно-измерительных машин деталь устанавливают на стол этой машины через прокладки или (если отклонение базовой плоскости от плоскостности имеет характер вогнутости) непосредственно. Отсчет снимают в крайних (угловых) точках верхней (отсчетной) плоскости или в крайних (угловых) точках оговоренной площадки этой отсчетной плоскости. Разность максимального и минимального показаний, снятых в точках отсчета, составляет искомое отклонение базовой плоскости детали от параллельности.

Отклонения от параллельности прямых в плоскости. В соответствии с ГОСТ 24642–81 измерение отклонения от параллельности прямых в плос-

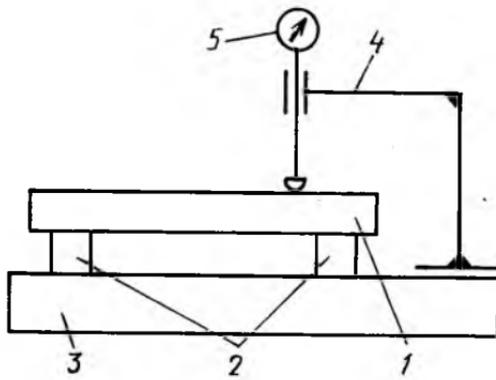


Рис. 2.14. Контроль параллельности прямых с помощью измерительных прокладок

кости должно производиться между прилегающими прямыми. Чтобы найти прилегающие прямые, предварительно определяют отклонения от прямолинейности контролируемых элементов и обрабатывают данные графически или аналитически. Но такие измерения производят редко (при исследованиях или арбитражном контроле).

Практически прилегающую прямую воспроизводят прямой, проходящей через две максимально удаленные друг от друга точки контролируемой прямой, или прямой, лежащей в одном из сечений поверочной плиты.

Воспроизведение прилегающей прямой при помощи "прямых двух точек" предпочтительнее: при контроле отклонения от прямолинейности от этих же двух крайних точек разделяются отклонения формы (отклонения от прямолинейности) и расположения (отклонения от параллельности).

Воспроизведение прилегающей прямой при помощи прямой, лежащей в одном из сечений поверочной плиты, может быть рекомендовано для случаев, когда отклонение реальной прямой от прямолинейности имеет характер волнотности.

В обоих случаях прилегающую прямую воспроизводят у базовой прямой. Отсчет производят в двух крайних точках реальной прямой, отклонение которой от параллельности базовой прямой является искомым.

Отклонение от параллельности прямых в плоскости проверяют также путем измерения расстояния между крайними точками реальных элементов. Здесь имеет место воспроизведение прилегающих прямых по крайним точкам реальных элементов, отклонение от параллельности которых является искомым. При этом вносится погрешность, вызываемая неточностью воспроизведения прилегающих прямых.

При использовании измерительных прокладок (рис. 2.14) деталь 1 устанавливают на плиту 3 на две одинаковые прокладки 2 (концевые меры). Прокладки располагают так, чтобы они находились на концах базовой прямой. При помощи измерительной головки 5, закрепленной на штативе 4, снимают показания в крайних точках верхней (отсчетной) прямой или в крайних точках отрезка заданной длины этой же отсчетной прямой. Разность максимального и минимального показаний, снятых в точках отсчета, составляет искомое отклонение базовой прямой (границы) от параллельности.

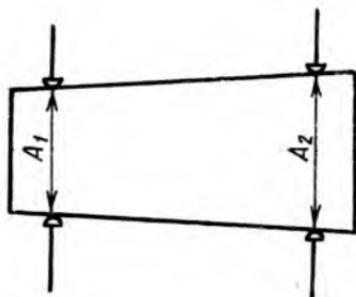


Рис. 2.15. Контроль параллельности двухконтактным прибором

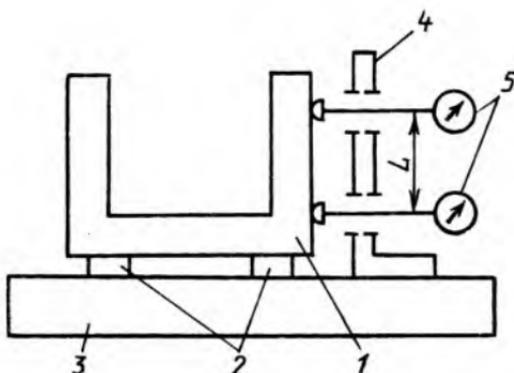


Рис. 2.16. Контроль перпендикулярности с помощью индикаторного угольника

Измерения при помощи плиты рекомендуются для деталей, у которых отклонение базовой прямой от прямолинейности имеет характер вогнутости.

Измерение при помощи микрометров, рычажных или индикаторных скоб осуществляется путем определения расстояний A_1 и A_2 между крайними точками проверяемых граней (рис. 2.15). Отклонение их от параллельности находят как разность размеров A_1 и A_2 .

Отклонения от перпендикулярности плоскостей, осей или оси и плоскости. Измерение отклонений плоскостей от перпендикулярности производят при помощи измерительных прокладок и специального индикаторного угольника.

Деталь 1 устанавливают на плиту 3 на трех одинаковых прокладках 2 (рис. 2.16). Измерительные головки 5 специального индикаторного угольника 4 настраивают на нуль по образцовой мере. Отклонение рабочего угла меры от прямого должно отвечать требуемой точности измерения. Угольник, настроенный на нуль, помещают таким образом, чтобы обе измерительные головки 5 контактировали своими наконечниками с контролируемой поверхностью детали. При этом добиваются, чтобы нижняя измерительная головка показывала нуль. Отклонение стрелки верхней измерительной головки определит искомое отклонение от перпендикулярности (на длине L).

Измерения при помощи плиты и специального индикаторного угольника рекомендуются для деталей, у которых отклонение базовой плоскости от плоскостности имеет характер вогнутости. Деталь устанавливают непосредственно на плиту. Порядок измерения тот же, что и при использовании измерительных прокладок.

Измерения при помощи кантования рекомендуются для деталей, длина которых значительно больше ширины (например, плоских угольников). Деталь 1 (рис. 2.17) устанавливается на две одинаковые измерительные прокладки 2, стоящие на плите 3, или непосредственно на плиту. Специальный индикаторный угольник 4 придвигают к детали 1 так, чтобы измерительные наконечники головок 5 коснулись проверяемой плоскости. Обе измерительные головки настраивают на нуль. Затем деталь кантуют, вследствие чего поверхности A и B меняются местами. При этом добиваются того, чтобы нижняя головка показывала нуль. Отклонение стрелки верхней измерительной головки определяет удвоенное отклонение проверяемых плоскостей от перпендикулярности.

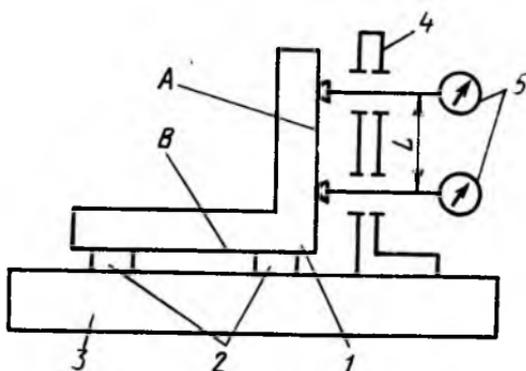


Рис. 2.17. Контроль перпендикулярности с кантованием

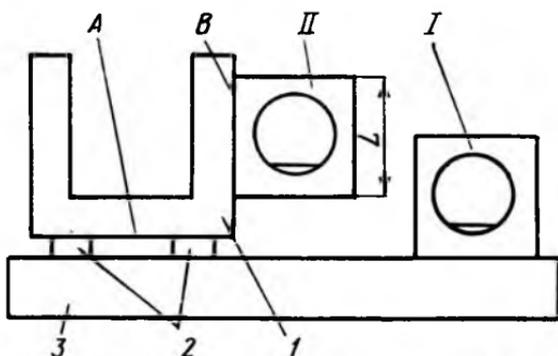


Рис. 2.18. Контроль перпендикулярности рамным уровнем

Если измерения выполняют при помощи измерительных прокладок и рамного уровня (рис. 2.18), деталь 1 устанавливают базовой плоскостью А на три одинаковые прокладки 2, стоящие на плите 3. Плита 3 должна быть выставлена так, чтобы ее рабочая плоскость находилась в горизонтальном положении. Рамный уровень последовательно накладывают на плиту в первое положение I, а затем на проверяемую плоскость В (вертикальной гранью) во второе положение II.

Измерения при помощи плиты и рамного уровня рекомендуются для деталей, отклонение базовой плоскости которых от плоскостности имеет характер вогнутости.

Лабораторная работа 4

Контроль прямолинейности плоской поверхности

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов воспроизведения прилегающей прямой и методики выполнения измерений отклонений от прямолинейности.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства приемочного контроля детали по заданным параметрам.

2. Измерить отклонения от прямолинейности и зафиксировать результаты с учетом погрешностей измерений.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.
Объект контроля: деталь с одной или несколькими узкими плоскими поверхностями, параллельными основанию.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: стойка или штатив с индикатором часового типа или другой рычажно-зубчатой или пружинной головкой.

Меры и вспомогательные устройства: плоскопараллельные концевые меры длины; линейка лекальная; плита поверочная; линейка измерительная.

Метод измерений

Рекомендуется метод сравнения с мерой, где мерой прямолинейности исследуемой поверхности служит рабочая поверхность лекальной линейки или поверочной плиты.

Выполнение измерений

С качественной стороны отклонения рельефа контролируемой поверхности (линии) от прямолинейности (выпуклость, вогнутость, волнистость) могут быть оценены по просвету при наложении на исследуемую поверхность лекальной линейки. Для количественной оценки применяют измерительную головку и образец прямолинейности. Оценка может быть дискретной и непрерывной. Дискретная представляется в числовом виде, а непрерывная — в виде диаграммы самопишущего прибора.

Предварительная оценка отклонений от прямолинейности позволяет выбрать количество и координаты точек, подлежащих контролю. Например, при выпуклости или вогнутости поверхности отклонение ее от прямолинейности можно оценить по координатам трех точек, а при волнистости необходимо выявить все экстремумы. Отклонения от прямолинейности определяются измерением ординат контролируемой поверхности детали. Деталь устанавливают на плиту по двум наиболее удаленным друг от друга точкам так, чтобы контролируемая поверхность была примерно параллельна плоскости плиты. Для установки можно использовать измерительные прокладки и специальные приспособления; контролируемая поверхность может быть обращена вниз (к плите) или вверх (см. рис. 2.3).

Измерение ординат осуществляется при перемещении прибора относительно контролируемой детали, причем шаг его перемещения определяют в зависимости от наличия и характера экстремумов. Измерительную головку устанавливают с натягом на произвольную точку контролируемой поверхности, отклонения записывают с учетом их знака. По окончании цикла измерений проверяют, сохранилась ли правильная настройка прибора.

Оформление результатов измерений

В случае, если контролируемая поверхность устанавливалась на плите по двум крайним точкам с одинаковыми ординатами и отклонение от прямолинейности имеет характер вогнутости или выпуклости, отклонение оценивают по алгебраической сумме наибольшего и наименьшего отклонений.

В более сложных случаях выполняют графическую или аналитическую обработку результатов. Например, определяют графически отклонение реального профиля от прилегающей прямой на диаграмме, построенной в масштабе, причем прилегающую прямую строят методом последовательных приближений.

Результаты измерений можно представить в виде диаграммы или таблицы (табл. 2.4) с указанием в тексте или заголовке значений погрешности измерений ординат.

Т а б л и ц а 2.4

Координата	Значения координат точек
Абсцисса, мм Ордината, мкм	

На основании полученных результатов определяют оценку отклонения от прямолинейности, которую записывают по типу: "Вогнутость ($0,06 \pm \pm 0,01$) мм, $P = 0,95$ ".

Сравнивая измеренное отклонение от прямолинейности с допуском, дают заключение о годности детали по контролируемому параметру.

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) для каждой поверхности (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных значений ординат и т.д.).
3. Оценить погрешности измерений.
4. Измерить отклонения каждой контролируемой поверхности от прямолинейности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.
5. Обработать результаты измерений и выполнить их анализ. Сравнить измеренные отклонения от прямолинейности с допустимыми. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 5

Контроль круглости и профиля продольного сечения цилиндрической поверхности

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов воспроизведения прилегающих элементов и методики выполнения измерений отклонений от круглости и профиля продольного сечения деталей цилиндрической формы.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства приемочного контроля детали по заданным параметрам.

2. Исследовать круглость детали: с помощью кругломера; с помощью универсальных средств измерений.

3. Измерить отклонения профиля продольного сечения детали.

4. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру
Объект контроля: гладкий или ступенчатый валик.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Накладные приборы: штангенциркуль; микрометр гладкий; микрометр рычажный; скоба индикаторная; скоба рычажная.

Станковые приборы: кругломер; стойка или штатив с индикатором часового типа или другой рычажно-зубчатой или пружинной головкой; стойка с опикатором и др.

Меры и вспомогательные устройства: плоскопараллельные концевые меры длины; линейка лекальная; призмы; кольца специальные для контроля круглости; плита поверочная.

Методы измерений

Используются методы сравнения с мерой, где образцовое вращение детали и измерительного наконечника производится с помощью шпинделя кругломера или подшипников в виде призмы или кольца, а образцовая прямая – с помощью лекальной линейки или плиты. Возможна также непосредственная оценка круглости детали путем измерения ее диаметров.

Выполнение измерений

При контроле круглости с помощью кругломера деталь центрируют относительно оси вращения шпинделя, используя показания прибора, после чего записывают круглограмму (или получают непосредственно результат измерения). Исследование круглости обычно выполняют в нескольких сечениях детали, но в случае стабильности формы детали по длине можно ограничиться одним сечением.

Приближенная оценка круглости может быть получена с помощью двух-контактного прибора (см. рис. 2.7). Методика оценки состоит в сравнении ряда диаметров контролируемого поперечного сечения детали. В выбранном сечении измеряют при последовательных поворотах детали относительно линии измерения ее диаметры или их отклонения от произвольно выбранного для настройки размера. Если обнаруживают колебания измеряемых диаметров, при наличии экстремальных диаметров в перпендикулярных направлениях контролируемое сечение полагают овальным. Практическое отсутствие различия диаметров может свидетельствовать как о круглости сечения, так и о возможной невыявленной огранке.

Огранку вала можно проконтролировать, вращая его в кольце-прототипе прилегающего цилиндра, к которому в радиальном направлении закреплена измерительная головка. Головка настраивается на нуль по произвольной точке контролируемой детали, и отклонения фиксируются с учетом знака за полный оборот детали. Измерение отклонений в радиальном направлении в этом случае обеспечивает оценку огранки и определение количества граней.

При контроле огранки в призме из-за "плавания" центра сечения измененные отклонения от произвольно настроенного размера не соответствуют огранке. Коэффициент воспроизведения, на который необходимо разделить показания прибора, при контроле деталей с трехгранным сечением в призме с углом 60° равен 3, а с углом 90° — 2. При контроле пятигранной детали эти коэффициенты соответственно равны 1 и 2, поэтому при возможном количестве граней три или пять предпочтительно выбирать призму с углом 90° , так как в этом случае коэффициенты воспроизведения для нее одинаковы.

Оценка погрешностей формы в осевом сечении детали "на просвет" с помощью лекальной линейки дает представление о виде отклонения при седлообразности и бочкообразности, а также при отклонении оси детали от прямолинейности. Количественная оценка возможна с использованием образцов просвета.

Наличие отклонения оси детали от прямолинейности обнаруживается при контроле детали станковым прибором с последовательными поворотами на плоскости или в призмах. Показывающий прибор устанавливается на произвольный размер.

Контроль размеров или отклонений двухконтактным накладным прибором позволяет выявить отклонения от прямолинейности образующих и оценить вид погрешности формы профиля продольного сечения детали по расположению экстремальных диаметров. Разность диаметров примерно вдвое больше разности текущих радиусов-векторов, по которой оценивается отклонение профиля.

Оформление результатов измерений

Круглограмма (см. рис. 2.11) дает визуальное представление о форме сечения детали (наличие овальности или огранки, число граней). К записанному на ней сечению профиля подбирают прилегающую окружность, а отклонение от круглости Δ определяют как разность между ее радиусом и максимально отличающимся от нее радиусом-вектором сечения в масштабе, соответствующем увеличению кругломера.

При контроле круглости детали в призме показания прибора делят на коэффициент воспроизведения.

При контроле на плоскости отклонение оси детали от прямолинейности считают равным максимальной разности показаний прибора, а при вращении детали в призмах измеренное значение делят пополам.

Для определения отклонения формы профиля продольного сечения детали при наличии его конусообразности, бочкообразности и седлообразности измеренную разность диаметров делят пополам.

Оформление результатов контроля круглости может включать описание вида погрешности формы и числовое значение отклонения, например: " $\Delta_r = (0,025 \pm 0,004)$ мм, $P = 0,95$, вид погрешности формы — овальность".

При контроле круглости в призме необходимо зафиксировать показания прибора и угол призмы (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Результаты при угле призмы 90°	Сечение детали			
	1-1	2-2	3-3	...
Показание прибора, мкм:				
max				
min				
Δ , мкм				
Δ_r , мкм				

Результаты контроля формы профиля продольного сечения двухконтактным прибором можно представить в виде табл. 2.6.

Таблица 2.6

Результаты для детали или поверхности	Сечение детали			
	1-1	2-2	3-3	...
Показание прибора, мм				
Δ_ϕ , мкм				

Описание результатов контроля детали в продольном сечении может включать вид погрешности формы, например: "Погрешность профиля продольного сечения – седлообразность, $\Delta_\phi = (0,06 \pm 0,01)$ мм, $P = 0,95$ ".

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) для каждой поверхности (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных сечений и т.д.).
3. Оценить погрешности измерений.
4. Выполнить измерения отклонений формы профиля в поперечном и продольном сечениях для каждой контролируемой поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.
5. Обработать и выполнить анализ результатов измерений. Сравнить измеренные отклонения с допустимыми. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 6

Контроль параллельности плоскостей

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов реализации прилегающих плоскостей и методики выполнения измерений отклонений плоскостей детали от параллельности.

З а д а ч и : 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства приемочного ее контроля по заданным параметрам.

2. Измерить отклонения от параллельности и зафиксировать результаты с учетом погрешностей измерений.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

О б ъ е к т к о н т р о л я: ступенчатая деталь с несколькими плоскими поверхностями, параллельными основанию.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Накладные приборы: штангенциркуль; микрометр гладкий; микрометр рычажный; скоба индикаторная; скоба рычажная.

Станковые приборы: стойка или штатив с индикатором часового типа или другой рычажно-зубчатой или пружинной головкой (с микрокатером, оптикатором и др.).

Меры и вспомогательные устройства: набор плоскопараллельных концевых мер длины; линейка лекальная; плита поверочная; линейка измерительная.

Методы измерений

Используется метод непосредственной оценки отклонения от параллельности рабочей поверхности поверочной плиты, на которую деталь устанавливается базовой поверхностью.

Выполнение измерений

При измерении отклонений плоскостей от параллельности к заданной базе плоскость, прилегающая к базовой поверхности, воспроизводится с помощью поверочной плиты или поверочной плиты и измерительных прокладок (см. рис. 2.13). Предварительное определение характера элементарных отклонений от плоскостности (выпуклости или вогнутости) осуществляют "на просвет" при наложении лекальной линейки на контролируемую плоскость в нескольких пересекающихся направлениях. Выпуклую базовую поверхность обязательно устанавливают на плиту с измерительными прокладками, вогнутую или волнистую можно базировать непосредственно на нее. Поверхность, параллельность которой базовой поверхности подлежит контролю, заменяют "прилегающей плоскостью" аппаратурно либо графоаналитически.

Для аппаратурной реализации плоскости, параллельной прилегающей к контролируемой поверхности, используют плоскопараллельную пластину (концевую меру, стеклянную пластину, плиту с пренебрежимо малыми отклонениями поверхностей от плоскостности и параллельности и т.д.) или лекальную линейку (рис. 2.19). Плоскопараллельную пластину 2 накладывают на

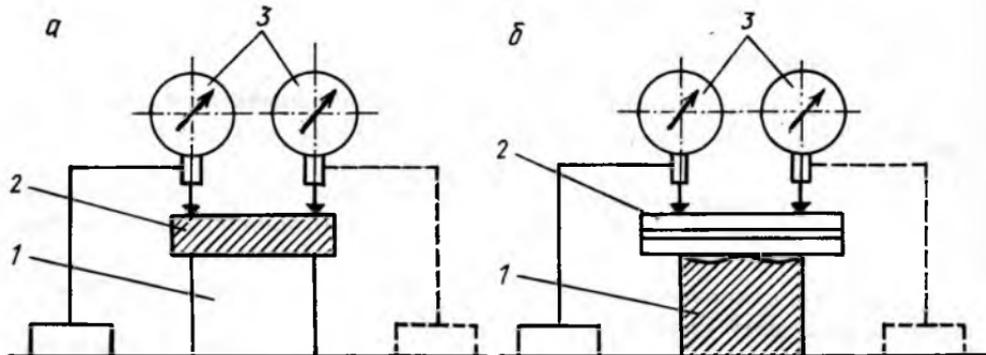


Рис. 2.19. Контроль параллельности:

а — с помощью плоскопараллельной пластины; б — с помощью лекальной линейки

контролируемую поверхность детали 1, фиксируют в этом положении, после чего измеряют ординаты крайних точек площадки, соответствующей предписанной. Для этого показывающий прибор 3 на стойке или штативе устанавливается с натягом на нуль по произвольной точке пластины, затем записываются алгебраические значения отклонений всех контролируемых точек.

При использовании лекальной линейки подобным образом измеряются две крайние ординаты при каждом приложении линейки, причем число и направления сечений выбирают в зависимости от реальной формы контролируемой поверхности так, чтобы по возможности выявить сечение, которому соответствуют наименьшая и наибольшая ординаты.

Контроль ординат реальной поверхности дает возможность оценить суммарные отклонения от параллельности и плоскостности. В этом случае производят измерения не только для крайних точек каждого сечения, но и других его характерных (экстремальных) точек.

Оформление результатов измерения

При использовании плоскопараллельной пластины за отклонение от параллельности принимают наибольшую алгебраическую разность ординат двух крайних точек; при реализации прилегающей плоскости последовательными наложениями лекальной линейки — разность крайних ординат в том сечении, где она оказалась максимальной.

Если контроль ординат реализуют непосредственно на реальной поверхности, в результаты измерений включают отклонения от параллельности и от плоскостности. Для исключения отклонений от плоскостности здесь необходимо графически или аналитически построить прилегающую плоскость и оценить отклонение ее от заданного расположения.

Результаты измерений могут быть представлены в виде таблицы (табл. 2.7) с указанием значений погрешности измерений ординат.

Значения ординаты, мкм								
A_1	A_2	B_1	B_2	C_1	C_2	D_1	D_2	...
Разность ординат, мкм								
$A_1 - A_2$	$B_1 - B_2$	$C_1 - C_2$	$D_1 - D_2$	$A_1 - D_1$	$A_1 - D_2$...		

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) для каждой поверхности (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных значений ординат и т. д.).
3. Оценить погрешности измерений.
4. Выполнить измерения отклонений от параллельности для каждой контролируемой поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.
5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить измеренные отклонения от параллельности с допустимыми. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 7

Контроль перпендикулярности плоскостей

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов воспроизведения прилегающих плоскостей и методики выполнения измерений отклонений плоскостей детали от перпендикулярности.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства приемочного контроля заданных параметров.

2. Измерить отклонения от перпендикулярности и зафиксировать результаты.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

О б ъ е к т к о н т р о л я: ступенчатая деталь с несколькими плоскими поверхностями, перпендикулярными к основанию.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: стойка или штатив с индикатором часового типа или другой рычажно-зубчатой или пружинной головкой; стойка с микрокатером,

оптикатором и др.; приспособление измерительное специальное в виде угольника с двумя измерительными головками или одной головкой и жестким упором.

Меры и вспомогательные устройства: плоскопараллельные концевые меры длины; угольник; линейка лекальная; плита поверочная; приспособление угольник установочное.

Методы измерений

Рекомендуется метод сравнения с мерой, причем за меру перпендикулярности принимают линию, перпендикулярную к основанию специального измерительного угольника, реализуемую настройкой по образцовому угольнику измерительных наконечников одного или нескольких показывающих приборов. Мера перпендикулярности может также быть реализована с помощью специального установочного угольника, который позволяет установить базовую поверхность детали перпендикулярно рабочей поверхности плиты, а контролируемую поверхность — параллельно ей. В этом случае контроль перпендикулярности заменяется контролем параллельности.

Выполнение измерений

При измерении отклонений плоскостей от перпендикулярности к заданной базе плоскость, прилегающая к базовой поверхности, воспроизводится с помощью поверочной плиты или плиты и измерительных прокладок. Предварительную оценку характера элементарных отклонений от плоскостности базовой поверхности (выпуклость, вогнутость) осуществляют "на просвет" при наложении лекальной линейки на базовую поверхность в нескольких пересекающихся направлениях. Выпуклую базовую поверхность обязательно устанавливают на плиту с измерительными прокладками, вогнутую или волнистую можно базировать непосредственно на рабочую поверхность плиты. Поверхность, перпендикулярность которой к базовой подлежит контролю, заменяют "прилегающей плоскостью" аппаратно либо аналитически.

Для аппаратурной реализации плоскости, параллельной прилегающей к контролируемой поверхности, используют плоскопараллельную пластину (концевую меру, стеклянную пластину, плиту с пренебрежимо малыми отклонениями поверхностей от плоскостности и параллельности) или лекальную линейку. Плоскопараллельную пластину накладывают на контролируемую поверхность, фиксируют в этом положении, после чего исследуют с помощью специального измерительного угольника отклонения ее от перпендикулярности. Для этого предварительно измерительный угольник устанавливается основанием на плиту и придвигается к образцовому угольнику до упора, измерительные наконечники с натягом устанавливаются на нуль. При измерении показывающие приборы будут фиксировать отклонение от перпендикулярности на заданной длине, определяемой расстоянием между контрольными точками.

Использование лекальной линейки для реализации прилегающей плоскости предполагает измерение отклонений от перпендикулярности в ряде сечений детали с последовательным переносом линейки в эти сечения.

При контроле детали на установочном угольнике на исследуемую поверхность накладывают плоскопараллельную пластину и измеряют ординаты край-

них точек площадки, соответствующей предписанной. Для этого показывающий прибор на стойке или штативе устанавливается с натягом на нуль по произвольной точке пластины, затем фиксируют алгебраические значения отклонений всех контролируемых точек. Аналогично может исследоваться параллельность плоскостей с последовательным наложением лекальной линейки на выбранное количество сечений поверхности.

Оформление результатов измерений

При контроле отклонений от перпендикулярности с помощью угольника с заданной измерительной базой за отклонение принимают наибольшее из значений, полученных при измерении. При необходимости (несовпадении измерительной базы и предписанной длины) производят пропорциональный пересчет отклонений от перпендикулярности.

Если в контролируемом сечении реализовано более двух точек, строят прилегающую прямую, например, графоаналитическим способом, и отклонения отсчитывают от нее.

Результаты измерений могут быть представлены в виде таблицы (табл. 2.8) с указанием значений погрешностей измерений.

Таблица 2.8

Отклонение от перпендикулярности на базе 100 мм в сечении, мкм

$A_1 - A_2$ $B_1 - B_2$ $C_1 - C_2$ $D_1 - D_2$ $E_1 - E_2$...

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) перпендикулярности каждой поверхности (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных сечений и т.д.).
3. Оценить погрешности измерений, сравнить их с допустимыми, выбрать МВИ, обеспечивающие требуемую точность контроля детали.
4. Исследовать перпендикулярность каждой контролируемой поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.
5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить результаты с допустимыми значениями параметров, дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 8

Контроль радиального и торцевого биений

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов базирования детали и методики выполнения измерений радиального и торцевого биений.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства приемочного контроля детали по заданным параметрам.

2. Измерить радиальное и торцевое биения заданных поверхностей и зафиксировать результаты.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

О б ъ е к т к о н т р о л я: ступенчатый цилиндрический валик с двумя опорными шейками.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: стойки или штатив с индикатором часового типа или другой рычажно-зубчатой или пружинной головкой; стойка с микрокатером, оптикатером и др.

Меры и вспомогательные устройства: плоскопараллельные концевые меры длины; призмы измерительные; линейка измерительная, плита поверочная; упор с перемещающимся сферическим наконечником.

Методы измерений

Радиальное и торцевое биения измеряются методом непосредственной оценки в нормальном направлении (по радиусу детали — радиальное биение, вдоль оси — торцевое). Биение определяется как разность максимального и минимального показаний прибора.

Выполнение измерений

Воспроизведение оси базовой поверхности может осуществляться аппаратно или аналитически. Аппаратурная реализация предполагает вращение детали, закрепленной по базовой поверхности, в самоцентрирующем патроне либо (если базой является общая ось двух поверхностей) вращение детали, установленной базовыми поверхностями на призмы. В случае, если радиальное биение базовых поверхностей относительно оси центров детали пренебрежимо мало, в качестве измерительной базы можно использовать ось центров.

Аналитическая реализация оси базовой поверхности предусматривает не только использование тех же базирующих устройств, но и учет погрешностей, возникающих из-за неправильности формы базовых поверхностей или несопадения конструкторских и измерительных баз.

При установке детали на две измерительные призмы 6 (рис. 2.20) на плите ось детали должна быть параллельна поверхности плиты. Это достигается установкой призмы на прокладках (в случае необходимости) и контролируется с помощью показывающего прибора (на штативе или стойке) по ординатам крайних образующих базовых 5 или контролируемых поверхностей, которые для одной поверхности и для поверхностей равных диаметров должны быть одинаковы. Один из торцов контролируемой детали должен упираться в жесткий упор 1 через шарик 2 в точке на оси вращения детали, чтобы исключить влияние биения этого торца на результат измерений.

Для контроля радиального биения поверхности измерительная головка 3 устанавливается так, чтобы линия измерения совпадала с направлением ра-

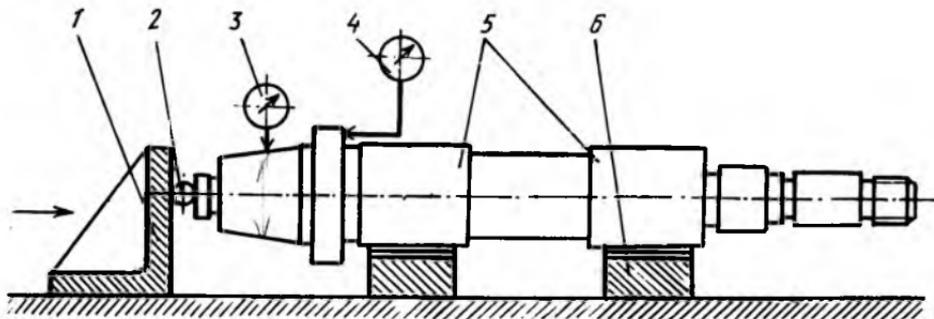


Рис. 2.20. Контроль биений в призмах

диуса контролируемой поверхности, и настраивается на нуль по произвольной точке поверхности. Записи подлежат модуль максимальной алгебраической разности показаний в каждом контролируемом сечении за полный оборот детали. Число контролируемых сечений должно обеспечивать выявление наибольшего значения радиального биения.

Для контроля торцевого биения измерительная головка 4 устанавливается так, чтобы линия измерения проходила параллельно оси базовой поверхности (поверхностей), а исследуемая точка находилась на предписанном радиусе. Если этот радиус не оговорен, контроль ведут максимально близко к периферии поверхности, отступив от ее края настолько, чтобы фаски, "завалы" края и другие возможные дефекты не оказывали на результат существенного влияния. Настройка на нуль производится по произвольной точке поверхности, искомое биение определяют как модуль алгебраической разности показаний за полный оборот детали.

Результаты измерений биений каждой поверхности могут быть представлены в виде табл. 2.9 (с указанием погрешностей измерений), общей или раздельных по видам биений.

Таблица 2.9

Параметр	Поверхность				
	A	B	C	D	...
Биение, мкм					
Допустимое биение, мкм					

Таблица может быть дополнена текстом о заданном допуске радиального или торцевого биения, заключением о годности детали по отдельным параметрам и в целом.

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.

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

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

4. Измерить параметры каждой контролируемой поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.

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

6. Оформить отчет о лабораторной работе.

2.3. Контроль углов

Нормальные углы α и допуски углов конусов и призматических элементов установлены ГОСТ 8908–81 (СТ СЭВ 178–75, СТ СЭВ 513–77), а ряды нормальных конусностей C определены ГОСТ 8593–81 (СТ СЭВ 512–77).

Установлены следующие основные термины и обозначения для конусов и конических сопряжений.

Плоскости поперечного сечения конуса (рис. 2.21, а): основная 1 (в ней задается номинальный диаметр) и базовая 2 (определяющая осевое положение сопряженных конусов); обе плоскости могут совпадать и не совпадать.

Диаметры поперечных сечений конусов: большого основания – D , малого – d ; заданного сечения – D_s (в котором задан допуск), произвольно расположенного – d_x . Длина конусов – L , соединения – L_p (рис. 2.21, б).

Осевые расстояния от большого основания конуса до заданного сечения – L_s , до произвольно расположенного сечения – L_x .

Базорасстояния конуса – Z_e, Z_i , соединения – Z_p .

Конус (наружный или внутренний) характеризуется (рис. 2.22) диаметром большого основания D , диаметром малого основания d , углом конуса α , углом уклона $\alpha/2$, длиной конуса L .

Угол уклона $\alpha/2$ связан с размерами D , d и L соотношением $\operatorname{tg}(\alpha/2) = (D/2 - d/2)/L$ или $2\operatorname{tg}(\alpha/2) = (D - d)/L = C$, где $2\operatorname{tg}(\alpha/2) = C$ – конусность, а $C/2 = \operatorname{tg}(\alpha/2) = i$ – уклон.

Стандарт устанавливает 17 степеней точности углов (от АТ1 до АТ17 в порядке убывания точности).

Взаимосвязь между размерами D , d , α и L учитывают при назначении допусков.

Допуски углов (рис. 2.23) выражают в угловых единицах (AT_α – точное, AT'_α – округленное значение); длиной отрезка AT_D (мкм), перпендикулярного к оси конуса; длиной отрезка AT_h (мкм), перпендикулярного к образующей конуса или к меньшей стороне угла.

Углы измеряют как прямо, так и косвенно. Прямые измерения осуществляют методом сравнения с мерой (сравнение с жесткими мерами) или методом непосредственной оценки (измерение гониометрическими средствами).

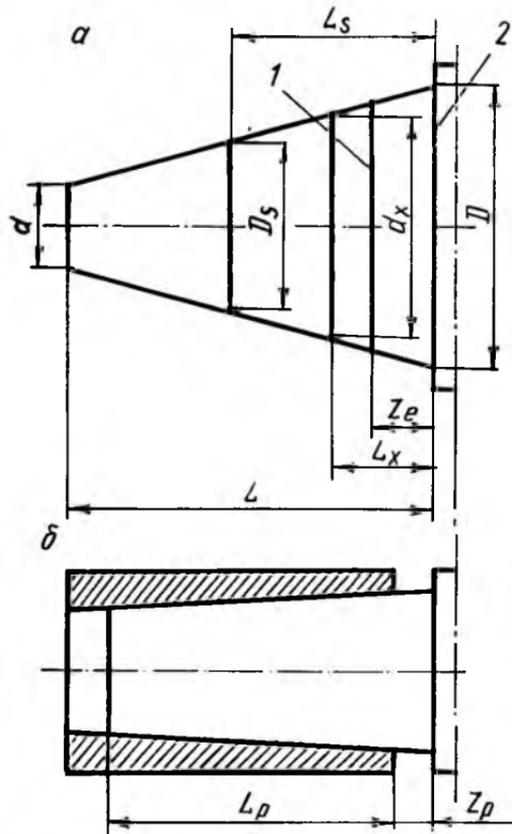


Рис. 2.21. Конические детали и сопряжения:
 а — конус наружный; б — сопряжение коническое

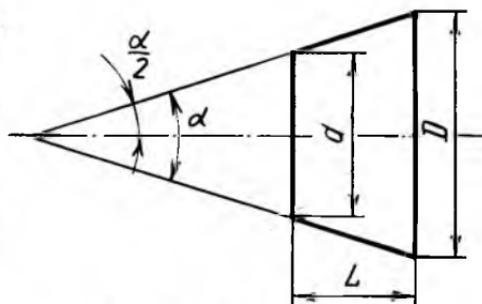


Рис. 2.22. Параметры конуса

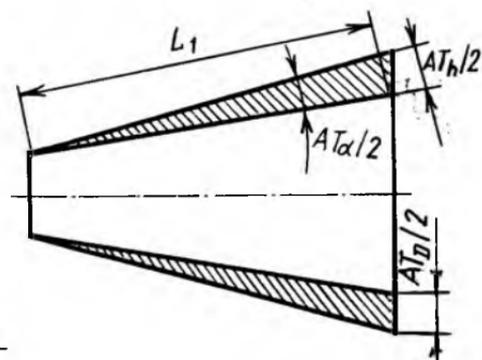


Рис. 2.23. Допуски углов

Косвенные методы основаны на измерении линейных размеров элементов угла с последующим расчетом его значения через тригонометрическую функцию (используются так называемые тригонометрические средства измерений).

Допуски, выраженные в угловых и линейных единицах, связаны зависимостью

$$AT_h = 10^{-3} AT_\alpha L_1,$$

где L_1 — длина стороны угла или длина образующей конуса, мм.

Для конусов, имеющих малые углы (при конусности C 1:3 или угле конуса $\alpha \leq 19^\circ$) $AT_D \approx AT_h$. При больших значениях C и α

$$AT_D = AT_h / \cos(\alpha/2).$$

Объекты угловых измерений в машиностроении и приборостроении многочисленны и разнообразны. Это приводит к необходимости использования разнообразных средств измерений, различных по точности, пределам измерений, производительности и назначению.

Важнейшим признаком, по которому классифицируют средства измерений углов и конусов, является тип (вид) меры, с которой сравнивают измеряемый угол.

К первой группе средств относят прототипы изделий (их часто называют "жесткими мерами") в виде угловых мер.

Вторая группа измерительных средств — гониометрических — объединяет приборы и устройства, с помощью которых измеряемый угол сравнивается с соответствующими значениями встроенной в прибор угломерной круговой или дуговой (секторной) шкалы.

Третья группа средств — тригонометрических — отличается тем, что мерой, с которой сравнивают измеряемое изделие, является угол прямоугольного треугольника. Две стороны этого угла воспроизведены или измерены средствами и методами линейных измерений. Эта группа средств наиболее разнородная по пределам измерений и физическим принципам, положенным в основу их действия. В частности, к ней наряду с синусными и тангенсными устройствами, координатными приборами (в том числе автоматами для сортировки конусов) относятся также автоколлимационные и интерференционные приборы. В этих приборах образцовая мера воспроизводится малым углом прямоугольного треугольника, причем большим катетом его у автоколлиматора является фокусное расстояние объектива, а у интерферометра — расстояние между интерференционными полосами; малым катетом соответственно являются перемещение автоколлимационного блока по шкале окуляра и высота клина в точке, соответствующей данному числу интерференционных полос.

Классификация угломерных средств по указанным признакам позволяет изыскать закономерности, общие для средств, которые входят в данную классификационную группу, и характеризующие точность измерений.

В свою очередь приборы и устройства, входящие в каждую из групп, объединяются по физическому принципу, положенному в основу действия прибора, способу фиксации угла, конструкции и др.

При реализации метода сравнения измеряемого угла α с углом образцовой меры A в качестве меры могут быть использованы призматическая угловая мера (плитка), угольник с рабочим углом 90° и конический прибор-пробка. Сущность метода (рис. 2.24) состоит в том, что мера A , установленная в нужном положении с помощью трех жестких упоров 1 , будет приведена в это же положение и при повторной установ-

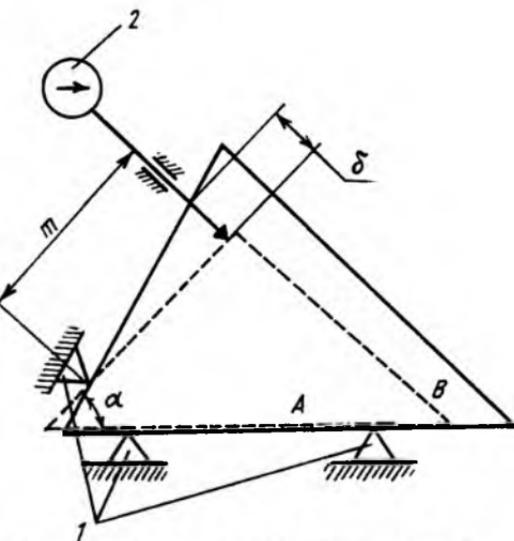


Рис. 2.24. Измерение угла сравнением с мерой

Следовательно, сколько бы раз ни устанавливали меру в это положение, индикатор 2 или другой контактный прибор для линейных измерений, измерительный наконечник которого соприкасается со стороной меры A на ее краю, должен каждый раз показывать один и тот же отсчет. Он будет показывать этот же отсчет, если вместо меры A будет установлено изделие B с точно таким же углом. Если же угол изделия отличается от угла меры, показание индикатора будет отличаться от показания при установке меры на δ .

Поскольку для данных условий измерений размер m постоянен, шкала индикатора может быть отградуирована в угловых единицах, что дает возможность определять отклонения измеряемых углов изделий непосредственно по шкале индикатора.

Алгебраическая сумма измеренного отклонения δ и действительного угла меры и составляет измеряемый рабочий угол.

При изготовлении различных деталей машин в качестве измерительных средств применяют угловые шаблоны с углом, который должно иметь изделие, причем в большинстве случаев изделие подгоняют по шаблону без просвета.

Касание измерительных поверхностей с изделием должно быть линейным, в связи с чем для контроля изделий, углы которых образованы плоскими гранями, шаблоны изготовляют с лекальной (закругленной малым радиусом) поверхностью одной или обеих сторон рабочего угла.

В тех случаях, когда надо установить точный угол, образованный линиями или узкими гранями, угловые плитки можно применять вместо шаблона. Шаблоны контролируют угловыми плитками, а изделия — шаблонами на просвет.

Если углы изделия и шаблоны, а также допуск измеряемого угла обеспечивают отчетливо видимый просвет, можно применять предельные шаблоны, при контроле которыми устанавливают, находится ли измеряемый угол в пределах допускаемых значений.

Рабочие углы предельных шаблонов отличаются один от другого на значение всего поля допуска угла изделия.

Металлические угольники с рабочим углом 90° служат для проверки взаимной перпендикулярности плоскостей (линий) изделий, а также для проверки перпендикулярности относительных перемещений деталей машин. Кроме того, угольники применяют при различных монтажных работах. Формы, размеры и технические условия на угольники стандартизированы (ГОСТ 3749—77).

При измерении угла изделия B методом сравнения с углом угольника A (рис. 2.25) оценивают просвет между ними. Отклонение угла изделия от угла угольника определяется отношением ширины просвета P к длине стороны угольника H . Поскольку размер H неизменен, просвет может служить мерой отклонений угловых величин так же, как и в предыдущем случае. Просвет можно наблюдать как у конца стороны угольника (угол изделия больше угла угольника), так и у вершины угла (угол изделия меньше угла угольника). При контроле на просвет необходимо установить отсутствие просвета между измерительными поверхностями или его значение. При обычной освещенности порядка 100...150 лк просвет между плоской поверхностью изделия и рабочей поверхностью лекальной линейки невооруженный глаз обнаруживает на-

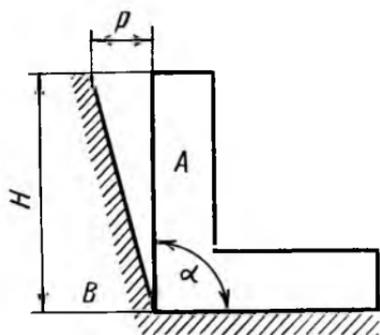


Рис. 2.25. Сравнение угла изделия с углом угольника

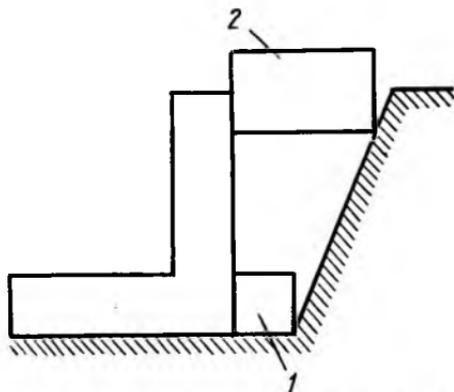


Рис. 2.26. Измерение угла с помощью угольника и концевых мер длины

чиная примерно с 1,5...2 мкм. Угловая погрешность, вносимая зоной просвета, тем больше, чем короче протяженность контакта изделия и угольника. При ширине контакта 3...5 мм зона невидимого просвета может достигать 4 мкм. Если же при этом обе контактируемые поверхности не доведенные, а шлифованные, невидимый просвет может доходить до 6 мкм.

Для более точной оценки просветов, превышающих невидимую зону, применяют так называемый образец просвета.

Просвет, ширину которого предстоит оценить, сравнивают на глаз с набором аттестованных просветов и по идентичности щелей определяют его размер. При достаточном навыке и наличии лекальной поверхности у линейки такую оценку можно выполнить с погрешностью порядка 1...1,5 мкм при малых просветах (до 5 мкм) и 2...3 мкм при больших просветах (до 10 мкм). Для просвета свыше 10 мкм этот метод неприменим. При просветах от 20 мкм и более можно пользоваться щупами.

Для оценки просветов от 5 до 20 мкм применяют концевые меры длины. Если, например, требуется определить отклонение угла от 90° по угольнику, на одну из сторон измеряемого угла кладут концевую меру 1 (рис. 2.26), к которой подводят до упора угольник. Далее, пользуясь другими концевыми мерами 2 как щупами, определяют расстояние между верхней частью рабочей поверхности угольника и стороной измеряемого угла. При этом меру 2 можно подобрать по ощущению тугого контакта между изделием и угольником или на основе предельного метода. Этот метод заключается в том, что подбирают две меры с минимальной дискретностью; одна из них входит в зазор между угольником и изделием, а другая нет. Размер зазора можно принять как среднее арифметическое размеров двух плиток. Разность размеров мер 1 и 2 является искомой шириной просвета.

Контроль контактными приборами осуществляется следующим образом. На плите укрепляют стойку с прибором, ось которого расположена горизонтально, и упор. К упору подводят угольник так, чтобы при этом измерительный наконечник прибора переместился на некоторое расстояние, после чего устанавливают прибор на нуль или фиксируют отсчет (рис. 2.27). Далее угольник снимают и на его место ставят измеряемое изделие. Разность отсчетов, по-

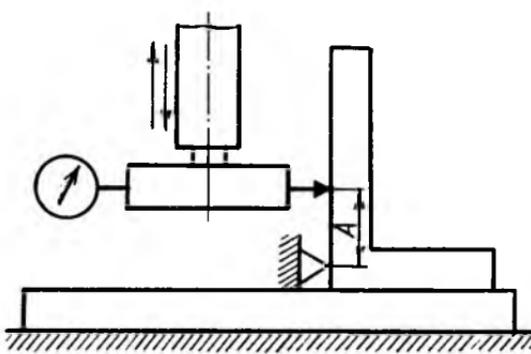


Рис. 2.27. Контроль угла с помощью показывающего прибора

лученных при контакте прибора с угольником и изделием, отнесенная к расстоянию A между осью измерительного наконечника и рабочей поверхностью плиты, принимают за отклонение угла изделия.

Точность измерения углов с помощью жесткой угловой меры зависит в первую очередь от точности угла меры, с которым сравнивают угол изделия, или от точности определения его действительного значения. В последнем случае в результат измерения вносят поправку, равную отклонению действительного значения угла меры от номинального со знаком, обратным этому отклонению. Кроме того, точность результата измерения зависит от точности прибора, правильности базирования изделия и т.д.

Для одновременного контроля размеров конуса (наружного и внутреннего) применяются конусные калибры, которые изготовляют в комплекте.

Контроль изделий калибрами является комплексным, поскольку проверяется не только угол конуса, но также и его диаметр в расчетном сечении по положению калибра относительно изделия вдоль оси. Для этой цели на поверхности калибра имеются две ограничительные линии (соответственно уступ на калибре-втулке).

Угол конуса детали проверяют по прилеганию поверхности калибра к поверхности проверяемой детали. Для этого калибр тщательно вытирают от пыли, масла и наносят на его конусную поверхность слой краски (берлинской лазури), равномерно распределяя ее по всей поверхности. Затем калибр осторожно вставляют или надевают на проверяемую деталь (также заранее тщательно протертую) и поворачивают его на $2/3$ оборота вправо и влево.

Если конусность калибра и проверяемой детали совпадает, краска будет стираться равномерно по всей образующей калибра. По доле стиртой и оставшейся краски судят о годности детали по конусности. Толщина равномерно наносимого слоя краски — $0,002...0,01$ мм. Предельная погрешность этого метода измерения — $20...24''$.

Сопрягаемые конусные детали рекомендуется контролировать калибрами одного комплекта, так как при использовании калибров, взятых из различных комплектов, проверяемые детали могут показать неудовлетворительную прилегаемость при сопряжении, хотя каждая в отдельности будет годной.

При использовании конусных калибров необходимо следить, чтобы на их

рабочих поверхностях и поверхностях контролируемых деталей отсутствовали различные забоины, царапины и т.д.

Для измерения внутренних конусов и клиновидных пазов применяют аттестованные шарики или цилиндры.

Приборами массового применения для деталей машин, реализующими гониометрическую схему измерения углов, являются угломеры. На каждую сторону измеряемого угла накладывают "без просвета" плоские грани линеек угломера. Обе линейки шарнирно соединены друг с другом. Одна из них связана с указателем, другая — с угломерной шкалой, имеющей общую ось с осью шарнира. Этот принцип для угломеров различных типов конструктивно реализован по-разному.

При применении тригонометрических схем измерений угол выражают как функцию длины сторон прямоугольного треугольника, измеряемой или воспроизводимой линейными мерами.

Применяют синусные и тангенсные схемы, основанные на измерении или воспроизведении противолежащего измеряемому углу катета (в обеих схемах), гипотенузы (при синусной схеме) или прилежащего катета (при тангенсной схеме).

Для небольших углов (примерно до 15°) обе схемы по точности практически равноценны, но для больших углов погрешность измерения может быть значительной и здесь предпочтительна тангенсная схема.

Поскольку при применении тригонометрических устройств по значениям синусов или тангенсов определяют углы или размеры линейных отрезков, из которых составляют соответствующую измерительную схему, необходимо пользоваться таблицей тригонометрических функций. От того, сколько значащих цифр содержат таблицы для каждого значения угла, зависит точность его определения.

Для практических измерений достаточно пяти значащих цифр.

При измерениях малых углов тригонометрическими устройствами синусная и тангенсная функции практически равны самим углам, поэтому для этих случаев важен вывод о том, что точность этих методов зависит главным образом от точности измерения малого катета.

Типичными примерами реализации тригонометрических методов измерений углов являются измерения с помощью так называемых синусных линеек и координатные методы.

Для угловых измерений и делительных работ при разметке и обработке деталей применяют оптические делительные головки.

Лабораторная работа 9

Измерение углов детали угломером

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление со средствами и методами измерения углов, приобретение навыков работы со средствами измерений.

З а д а ч и: 1. По чертежу контролируемой детали проанализировать точностные требования к объекту измерения.

2. Измерить заданные углы детали угломером.

3. Дать заключение о годности детали по каждому из контролируемых параметров.

Объект контроля: многогранная призма.

Средства измерений

Накладной прибор: угломер с принадлежностями.

Метод измерений

Используется метод непосредственной оценки (гониометрический).

Выполнение измерений

Собрать угломер с принадлежностями в соответствии с конфигурацией и значением контролируемого угла детали, проверить установку прибора на нуль. Измерить угол (углы), прикладывая рабочие кромки прибора к сторонам угла детали и контролируя правильность их положения по отсутствию просвета. По окончании измерений проверить, сохранилась ли установка прибора на нуль.

Оформление результатов измерений

Результаты измерений сводятся в табл. 2.10. В описании таблицы приводят значения погрешностей измерений.

Т а б л и ц а 2.10

Номер угла детали	Значение угла детали по чертежу	Измеренное значение угла детали	Заключение о годности угла детали
1			
2			
3			
...			

Порядок выполнения работы

1. Провести анализ требований к точности контролируемых углов детали.
2. Назначить методику выполнения измерений (МВИ) в зависимости от номинального значения контролируемого угла, выбрать схему измерений, подобрать необходимые принадлежности к угломеру, собрать требуемый комплект.
3. Оценить погрешности измерений.
4. Выполнить измерения каждого контролируемого угла детали. Перед началом и после измерений проверить установку прибора на нуль. Представить результаты измерений в табличной форме.
5. Обработать и выполнить анализ результатов измерений. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 10

Контроль наружного конуса детали с помощью синусной линейки

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с косвенными измерениями углов и конусов.

З а д а ч и: 1. По чертежу контролируемой детали проанализировать требования к точности объекта измерения.

2. Измерить угол конуса.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

О б ъ е к т к о н т р о л я: конический калибр-пробка или конус наружный.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: стойка или штатив с индикатором часового типа или другой рычажно-зубчатой или пружинной головкой.

Меры и вспомогательные устройства: набор плоскопараллельных концевых мер длины; синусная линейка; измерительная линейка.

Метод измерения

Используется метод сравнения с мерой, при котором заданный угол воспроизводится наклоном синусной линейки с помощью блока концевых мер.

Выполнение измерений

Предварительно рассчитывают размер блока концевых мер длины по формуле

$$h = L \sin \alpha,$$

где L – база синусной линейки; α – угол конуса при вершине.

Собирают блок концевых мер и подкладывают под ролик линейки, у которого закрепляется меньшее основание конуса. При этом верхняя образующая конуса устанавливается параллельно рабочей поверхности плиты или штатива, на которой установлена синусная линейка. Показывающий прибор устанавливают с натягом на нуль по наивысшей точке выбранного сечения конуса возле одного из оснований, для чего синусную линейку с блоком концевых мер перемещают перпендикулярно к линии измерения до получения максимального значения ординаты y_1 , которое соответствует нулевому показанию. Затем синусную линейку с блоком мер переставляют таким образом, чтобы на линии измерения находилась точка второго основания конуса на расстоянии l от первой контрольной точки, и находят максимальное значение ординаты y_2 . Расстояние l между контрольными точками измеряют с помощью линейки.

Обработка и оформление результатов измерений

Определяют отклонение от конусности

$$\Delta k \approx (y_2 - y_1) / l.$$

Отклонение угла конуса от номинального значения (в радианах)

$$\Delta_\alpha = \arcsin [(y_2 - y_1) / l].$$

Результаты измерений могут быть представлены в виде табл. 2.13, в описании которой приводятся значения погрешностей измерений.

Таблица 2.11

α , град		$\sin \alpha$	L , мм	h , мм	y_1 , мкм	y_2 , мкм	l , мм
$\alpha_{\text{ном}}$	$\alpha_{\text{изм}}$						

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности угла конуса, подлежащего контролю.
2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) каждого параметра (схему измерений, количество контролируемых точек, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных значений и т.д.).
3. Оценить погрешности измерений, выбрать МВИ, обеспечивающую требуемую точность.
4. Выполнить измерения параметров, входящих в расчетные зависимости. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.
5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить их с допустимыми значениями параметров, дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 11

Контроль внутреннего конуса детали с помощью шариков

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с косвенными измерениями углов и конусов.

З а д а ч и: 1. По чертежу контролируемой детали проанализировать требования к точности объекта измерения.

2. Измерить угол внутреннего конуса.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

О б ъ е к т и з м е р е н и я: деталь с внутренней конической поверхностью, ось которой перпендикулярна к торцам.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Накладные приборы: глубиномер микрометрический; глубиномер индикаторный.

Станковые приборы: стойка или штатив с широкодиапазонным измерительным преобразователем или прибором; длиномер вертикальный.

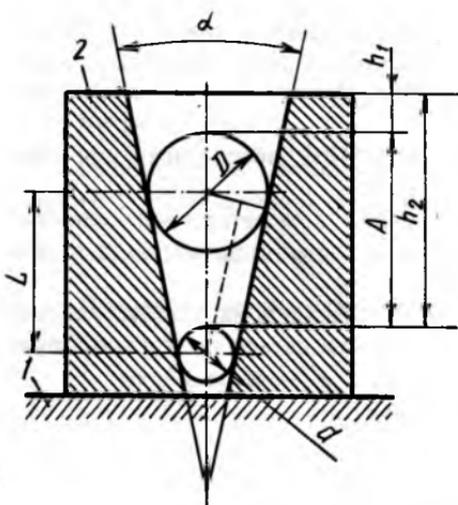
Меры и вспомогательные устройства: плоскопараллельные концевые меры длины; аттестованные шарики; плита поверочная.

Метод измерения

При контроле используется метод сравнения с мерой, при котором конус моделируется с помощью двух сечений измерительных мер (шариков), расположенных на определенном расстоянии.

Выполнение измерений

Аттестованные шарики последовательно закладывают в контролируемый конус 2 (рис. 2.28), установленный вертикально торцом с меньшим диаметром внутреннего конуса на плите 1, и измеряют расстояния h_1 и h_2 от верхних точек шариков до одного из торцов детали. При использовании плоского измерительного наконечника экстремальное показание устанавливается автоматически, в других случаях его необходимо найти при относительном перемещении детали перпендикулярно к



линии измерения. Так как искомой является разность ординат верхних точек шариков А, настройка на нуль может осуществляться по произвольной точке, например, нижнему или верхнему торцу конуса или по верхней точке одного из аттестованных шариков, заложенных в контролируемый конус. По окончании измерений необходимо проверить, сохранилась ли настройка на нуль.

Рис. 2.28. Контроль внутреннего конуса детали с помощью шариков

Обработка и оформление результатов измерений

Синус половины угла конуса при вершине

$$\sin(\alpha/2) = (R - r) / [A - (R - r)],$$

где R , r — радиусы соответственно большего и меньшего аттестованных шариков.

Результаты измерений могут быть оформлены в виде табл. 2.12, в которой приводят значения погрешностей измерений.

Таблица 2.12

h_1 , мм	h_2 , мм	$A = h_1 - h_2 $, мм	R , мм	r , мм	$\sin \alpha/2$	α
------------	------------	------------------------	----------	----------	-----------------	----------

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности контролируемого угла конуса.

2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) ординат точек аттестованных шариков (схему измерений, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных значений и т.д.).

3. Оценить погрешность измерений, выбрать МВИ, обеспечивающую требуемую точность.

4. Выполнить измерения параметров, входящих в расчетные зависимости. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.

5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить их с допустимыми значениями параметров, дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 12

Контроль дискового кулачка

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с методами и средствами совместного измерения угловых и линейных величин.

З а д а ч и: 1. По чертежу контролируемой детали проанализировать требования к точности объекта измерения.

2. Измерить радиусы-векторы кулачка в полярных координатах.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.

О б ъ е к т к о н т р о л я: дисковый кулачок с наружной рабочей поверхностью.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: делительная головка; стойка или штатив с индикатором часового типа или другим широкодиапазонным измерительным прибором для линейных измерений; длиномер вертикальный или горизонтальный.

Меры и вспомогательные устройства: оправка измерительная; плита; бабка с центром; аттестованный диск.

Методы измерений

Для измерения углов используется метод непосредственной оценки (гонометрический). Радиусы-векторы могут измеряться как непосредственно (например, с помощью длиномера), так и методом сравнения с мерой при настройке измерительной головки на нуль по аттестованному диску.

Выполнение измерений

В полярных координатах могут измеряться радиусы-векторы при заданных значениях углов. Для этого необходимо настроить на нуль прибор для измерения радиуса-вектора по аттестованному размеру оправки или по аттестованному диску, установленному на оправке. Затем на оправку устанавливают контролируемый кулачок и определяют положение начала отсчета угла в соответствии с чертежом. Поворачивая кулачок последовательно на каждый из заданных углов, определяемых по шкале делительной головки, измеряют искомые радиусы-векторы или их отклонения от настроенного нулевого значения.

Результаты измерений могут быть представлены в виде табл. 2.13, в описании которой приводятся значения погрешностей измерений.

Т а б л и ц а 2.13

 φ , град

 R , мм

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных значений параметров и т.д.).
3. Оценить погрешности измерений, сравнить их с допустимыми, выбрать МВИ, обеспечивающие требуемую точность.
4. Выполнить измерения заданных параметров контролируемой сложной поверхности. При необходимости уточнить МВИ. Результаты измерений представить в табличной форме.
5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить их с допустимыми значениями параметров, дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

2.4. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Реальная поверхность, ограничивающая деталь, в отличие от номинальной — геометрически правильной и гладкой — имеет сложный профиль, характеризующийся микро- и макрогеометрией. К микрогеометрии реальной поверхности детали относят шероховатость. Термины, определения и значения параметров шероховатости поверхности установлены ГОСТ 2789—73 и ГОСТ 25142—82.

Шероховатость поверхности — совокупность ее неровностей с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины. *Базовая длина l* — длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности. Количественная оценка шероховатости, как правило, производится от *средней линии профиля m* — базовой линии, имеющей форму номинального профиля и проведенной так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля (y_i — расстояние между любой точкой профиля и средней линией) от этой линии минимально (рис. 2.29). *Шаг неровностей профиля* — отрезок средней линии профиля, ограничивающий неровность профиля.

Для количественной оценки шероховатости поверхности установлено шесть параметров.

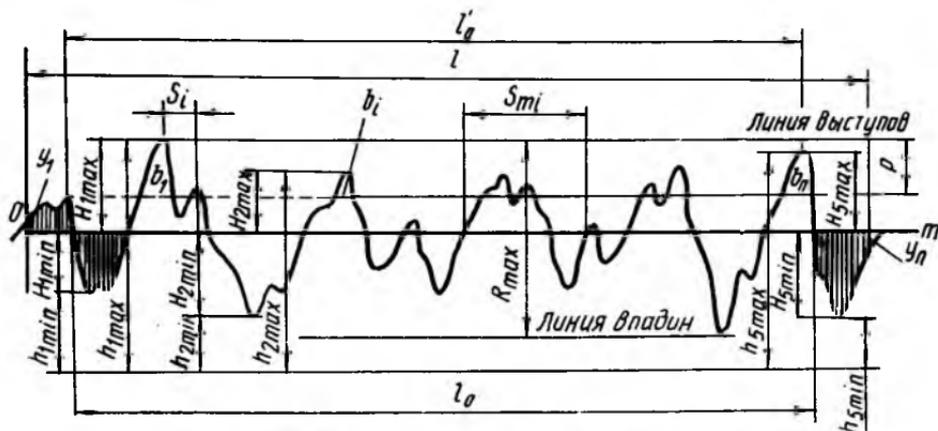


Рис. 2.29. Параметры шероховатости поверхности

Наибольшая высота неровностей профиля R_{\max} — расстояние между линией выступов профиля и линией его впадин в пределах базовой длины.

Линия выступов профиля — линия, эквидистантная средней его линии, проходящей через высшую точку профиля в пределах базовой длины. Линия впадин профиля определяется аналогично, но проходит через низшую точку профиля.

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

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}| \right).$$

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a — среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля от средней линии в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

Средний шаг неровностей профиля S_m — среднее значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины:

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

где S_{m_i} — шаг неровностей, равный длине отрезка средней линии между точками пересечения ее с одноименными сторонами соседних неровностей; n — число средних шагов в пределах базовой длины.

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

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

где n — число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины.
Относительная опорная длина профиля tp — отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$tp = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i,$$

где p — заданный уровень сечения; b_i — значения отрезков, отсекаемых в пределах базовой длины на выступах профиля линией, эквидистантной средней линии и расположенной на заданном уровне сечения от линии выступов.

Уровень сечения профиля p — расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии его выступов. Его выражают в процентах от наибольшей высоты неровностей профиля:

$$p = P/R_{\max} \cdot 100,$$

где P — расстояние между линией выступов и заданным уровнем сечения профиля, мкм.

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

Лабораторная работа 13

Измерение параметров шероховатости поверхности

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с методикой определения значений параметров шероховатости поверхности.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности микрогеометрии контролируемой поверхности, выбрать методы их оценки.

2. Определить значения параметров шероховатости поверхности.

3. Дать заключение годности детали по контролируемым параметрам.

О б ъ е к т к о н т р о л я: пластина с плоской контролируемой поверхностью, полученной чистовым строганием, фрезерованием или шлифованием.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковый прибор: профилограф-профилометр.

Меры: образцы шероховатости поверхности.

Методы измерений

Используется метод непосредственной оценки профиля поверхности. Параметры шероховатости оцениваются по показывающему устройству прибора или измеряются косвенно по профилограмме.

Выполнение измерений

Деталь устанавливается на столике прибора и ориентируется так, чтобы угол наклона исследуемой поверхности к линии движения измерительного преобразователя был незначительным. Для этого осуществляют пробные проходы измерительного преобразователя с оценкой результата по шкале прибора без включения записывающего устройства. Базовую длину выбирают в соот-

ветствии с назначенными параметрами шероховатости, если ее значение не нормировано.

После установки детали на столике прибора и выбора базовой длины измеряют параметры шероховатости и записывают профилограммы. Измерения повторяют на ряде участков, чтобы получить достаточное представление о контролируемой поверхности. Число и расположение трасс выбирают в зависимости от конфигурации и размеров поверхности, а также от разброса получаемых результатов измерений. Направление измерений, если оно не оговорено, должно обеспечивать выявление максимальных значений параметров шероховатости поверхности. Если на поверхности детали есть явно выраженные регулярные следы обработки, трасса измерения должна быть направлена перпендикулярно к ним.

Обработка и оформление результатов измерений

Все значения параметров шероховатости, которые можно получить с помощью показывающего устройства прибора, отсчитываются непосредственно с него.

Профилограмма, записанная при трассировании одного из контролируемых участков, может использоваться для оценки значений параметров R_{max} , R_z , S , S_m и tp .

Среднюю линию m на профилограмме проводят как прямую, которая делит на равные части площадь, ограниченную линиями профилограммы сверху и снизу от этой прямой на базовой длине. Эквидистантно этой линии проводят линии выступов и впадин, расстояние между которыми с учетом масштаба вертикального увеличения определяет наибольшую высоту неровностей профиля R_{max} . Значение параметра R_z рассчитывают в соответствии с его определением, для чего на базовой длине выбирают пять наибольших выступов и пять наиболее глубоких впадин.

Значение S_m рассчитывают с учетом горизонтального увеличения профилограммы, для чего измеряют на базовой длине все шаги неровностей по линии m (шаг S_m , равен длине отрезка средней линии между точками пересечения ее одноименными сторонами соседних неровностей) и подсчитывают число шагов n .

Средний шаг местных выступов профиля рассчитывают с учетом горизонтального увеличения профилограммы.

При ручной обработке профилограмм можно использовать упрощенные зависимости:

$$S_m = 2l_0 / (k - 1),$$

где l_0 — длина отрезка средней линии m , ограниченного первым и последним нечетным пересечением профиля со средней линией ($l_0 \leq l$); k — общее число пересечений профиля со средней линией на длине l_0 ;

$$S = l'_0 / (N - 1),$$

где l'_0 — длина отрезка средней линии между первым и последним характерными максимумами неровностей профиля ($l'_0 \leq l$); N — общее число характерных максимумов в пределах базовой длины.

Относительная опорная длина профиля, согласно определению,

$$tp = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i,$$

где b_i — длина i -го отрезка, отсекаемого в пределах базовой длины на выступах профиля прямой, параллельной средней линии и расположенной на расстоянии P от линии выступов профиля.

Так как p и tp — относительные величины, их расчет можно вести в реальном масштабе профилограммы.

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать заданные параметры шероховатости поверхности, подлежащие контролю.
2. Выбрать методику выполнения измерений (МВИ) параметров шероховатости поверхности (направление измерений, число трасс и т.д.).
3. Выполнить измерение параметров шероховатости с использованием показывающего устройства профилографа-профилометра. При необходимости уточнить МВИ. Записать профилограмму одного из исследуемых участков поверхности.
4. Обработать результаты измерений. Сравнить результаты, полученные снятием отсчета по показывающему устройству прибора и при ручной обработке профилограммы (если параметры дублируются). Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.
5. Оформить отчет о лабораторной работе.

2.5. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Нормирование точности резьбовых поверхностей можно рассмотреть на примере метрических резьб, предназначенных для резьбовых сопряжений с зазором и натягом. Совокупность параметров метрических резьб, подлежащих нормированию по стандартам (рис. 2.30), включает наружный диаметр наружной резьбы d , внутренний диаметр наружной резьбы d_1 , средний диаметр наружной резьбы d_2 , наружный диаметр внутренней резьбы D , внутренний диаметр внутренней резьбы D_1 , средний диаметр внутренней резьбы D_2 , шаг резьбы P , угол наклона боковой стороны профиля $a/2$.

Поля допусков (рис. 2.31) назначаются на средний диаметр (T_{d_2}, T_{D_2}) и диаметр выступов резьбы (T_d, T_D), наружный диаметр наружной резьбы d и внутренний диаметр внутренней резьбы D_1 . Для d_1 устанавливаются только верхние предельные отклонения, а для D — нижние, равные нулю. Вторые отклонения ("в тело детали") не ограничиваются.

Предельные отклонения шага резьбы и угла наклона боковой стороны профиля нормируют для резьб, предназначенных для переходных посадок и посадок с натягом. Для резьб, предназначенных для посадок с зазором, эти погрешности отдельно не ограничиваются, так как принято считать, что они компенсируются отклонениями средних диаметров болта и гайки.

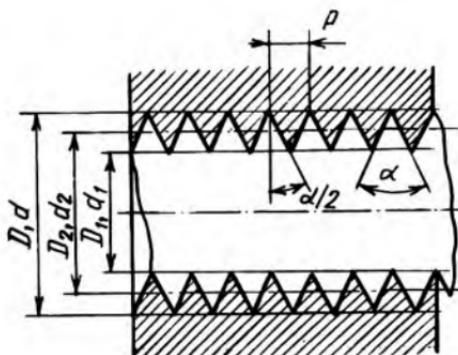


Рис. 2.30. Параметры метрических резьб

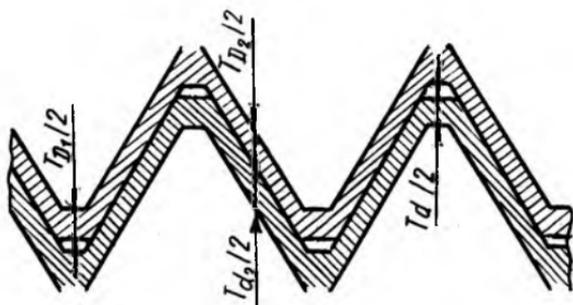


Рис. 2.31. Поля допусков резьб

Лабораторная работа 14

Измерение среднего диаметра наружной метрической резьбы

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с методами и средствами измерений среднего диаметра наружной резьбы.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности среднего диаметра наружной резьбы, выбрать методы и средства измерений.

2. Измерить средний диаметр резьбы и зафиксировать результат с учетом погрешности измерения.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

О б ъ е к т к о н т р о л я: винт или болт с метрической резьбой.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Накладные приборы: микрометр гладкий; микрометр рычажный; скоба рычажная; микрометр резьбовой со вставками.

Станковые приборы: длиномеры горизонтальный и вертикальный; стойка или штатив с рычажно-зубчатой или пружинной головкой и др.

Меры и вспомогательные устройства: плоскопараллельные концевые меры длины; проволоочки измерительные (рис. 2.32, а).

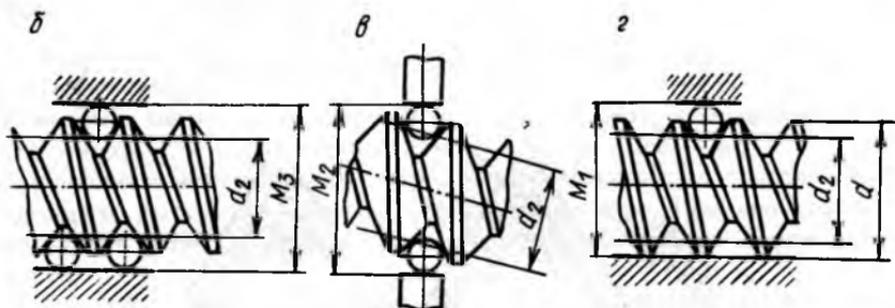
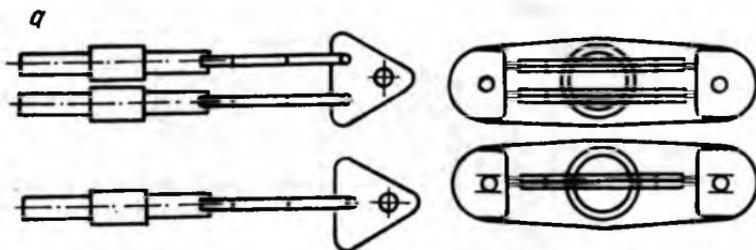


Рис. 2.32. Проволочки измерительные и варианты контроля среднего диаметра резьбы: а — проволочки измерительные; б — контроль с помощью трех проволочек; в — двух; з — одной

Методы измерений

Средний диаметр резьбы может измеряться как методом непосредственной оценки, например с помощью резьбового микрометра, так и методом сравнения с мерой, например при использовании рычажной скобы. При использовании измерительных проволочек реализуется косвенное измерение среднего диаметра, значения которого определяются из результатов измерения расстояний между образующими проволочек, известных размеров проволочек и геометрии резьбовой поверхности.

Выполнение измерений

Накладные и станковые средства измерений размеров (микрометр гладкий, микрометр рычажный, микрометр резьбовой, длиномер) или отклонений (скоба рычажная, измерительная головка на стойке) перед началом работы настраивают на нуль. Для измерения отклонений прибор настраивают по блоку плоскопараллельных концевых мер длины на предварительно рассчитанный размер M_0 . Зависимость для расчета размера M_0 при измерении метрической резьбы:

$$M_0 = d_2 + 3d_{\text{пр}} - 0,866P,$$

где d_2 — номинальный средний диаметр резьбы; $d_{\text{пр}}$ — диаметр измерительной проволочки; P — шаг резьбы.

Если есть возможность выбора размера измерительной проволочки, оптимальный ее диаметр рассчитывается по формуле

$$d_{\text{пр}} = P / [2 \cos (\alpha/2)],$$

где $\alpha/2$ — угол наклона боковой стороны профиля резьбы.

После настройки на нуль во впадины резьбы закладывают с двух сторон три проволочки (две с одной стороны, третью — с диаметрально противоположной) и определяют размер M_3 (рис. 2.32, б) между наиболее удаленными образующими проволочек, расположенных параллельно друг другу. Для этого на станковых приборах используют плоские измерительные наконечники.

При использовании резьбового микрометра после настройки его на нуль измеряют непосредственно средний диаметр резьбы.

Резьбовую поверхность контролируют в нескольких сечениях в продольном и поперечном направлениях, с тем чтобы оценить "погрешности формы" по среднему диаметру винта.

Возможно также определение размера M_2 при использовании двух проволочек (рис. 2.32, в) или одной — M_1 (рис. 2.32, г), а также применение специальной проволочки, образующей два-три винта "проволочной гайки".

Обработка и оформление результатов измерений

При косвенных измерениях средний диаметр резьбы d_2 рассчитывают по формуле

$$d_2 = M - d_{\text{пр}} \left[1 + \frac{1}{\sin \alpha/2} \right] + \frac{P \operatorname{ctg} (\alpha/2)}{2}$$

или для метрической резьбы

$$d_2 = M - 3d_{\text{пр}} + 0,866P,$$

где M — результат измерения с проволочками.

Результаты измерений среднего диаметра резьбы в ряде сечений можно представить в виде таблицы, в которую должны входить значения погрешностей измерений.

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать основные требования к точности среднего диаметра резьбы, подлежащего контролю.
2. Выбрать предварительную методику выполнения измерений (МВИ) среднего диаметра резьбы (схему измерений, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства и т.д.).
3. Оценить погрешности измерений.
4. Выполнить измерения среднего диаметра резьбы. При необходимости уточнить МВИ. Рассчитать диаметр резьбы (в случае косвенных измерений). Результаты измерений представить в табличной форме.
5. Выполнить анализ результатов измерений. Сравнить измеренный средний диаметр резьбы с допустимым. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 15

Контроль наружной резьбы детали с помощью микроскопа

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с методами и средствами измерений параметров наружных резьб.

З а д а ч и: 1. По чертежу детали провести анализ требований к ее точности, определить методы и средства измерения контролируемых параметров.

2. Измерить заданные параметры и зафиксировать результаты с учетом погрешностей измерений.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.

О б ъ е к т к о н т р о л я: шпилька с наружной метрической резьбой.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковый прибор: микроскоп измерительный с принадлежностями.

Меры: набор плоскопараллельных концевых мер длины.

Методы измерений

При измерении диаметров резьб используют метод их непосредственной оценки по отсчетному устройству микроскопа; угла наклона боковой стороны профиля — метод непосредственной оценки по угломерной головке микроскопа или метод сравнения с мерой по угломерной головке с использованием угла 30° на марке (рис. 2.33); шага резьбы — метод непосредственной оценки по отсчетному устройству микроскопа или метод сравнения с мерой с использованием блока плоскопараллельных концевых мер длины.

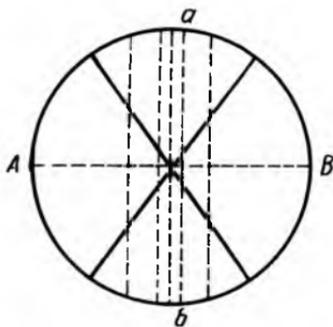


Рис. 2.33. Окулярная сетка (марка) визирного микроскопа

Выполнение измерений

До начала измерений необходимо правильно установить контролируемый объект относительно линий измерения, т.е. ориентировать его в системе координат микроскопа. Для этого сначала надо установить показания угломерной шкалы окулярной головки микроскопа на нуль. Подсветка шкалы осуществляется дополнительным осветителем, который крепится к тубусу микроскопа, или зеркальцем, направляющим на угломерную шкалу пучок света от специального источника.

Если контролируемая деталь устанавливается на столе микроскопа в центрах, ось центров предварительно устанавливают параллельно одной из коор-

динатно-измерительных осей микроскопа, для чего поворачивается центровая бабка относительно стола или стол микроскопа. Правильность установки центров проверяют по положению кромки ножа контрольного валика, закрепленного в центрах. Визирный микроскоп фокусируют, перемещая его в вертикальном направлении, на кромку ножа, которую выставляют поворотом центральной бабки параллельно одной из координатно-измерительных осей микроскопа. Направление осей определяют по вертикальной и горизонтальной линиям перекрестия марки визирного микроскопа. Для проверки правильности установки микроскопа линию перекрестия совмещают с изображением кромки ножа, используя микровинты координатных перемещений микроскопа, а затем проверяют совпадение изображения кромки ножа с линией перекрестия на всем поле зрения визирного микроскопа.

Если деталь устанавливают без центральной бабки, ее ориентируют по наружной поверхности резьбы, совмещая линии перекрестия с кромками выступов резьбы.

После совмещения системы координат детали и микроскопа фиксируют положение стола (бабки с центрами), не изменяющееся до окончания измерений, затем проверяют, сохранилась ли настройка на ноль по контрольному валику или, если он не применяется, по объекту контроля.

Диаметры резьбы контролируют следующим образом. Изображение резьбы с помощью микровинтов прибора устанавливают так, чтобы вертикальная линия марки проходила примерно по середине одной из боковых сторон профиля резьбы. После этого по отсчетным устройствам микроскопа фиксируют наружный диаметр резьбы по координатам точек, его ограничивающих (при совпадении выступов резьбы с горизонтальной линией перекрестия), внутренний диаметр резьбы — по линиям впадин резьбы и средний диаметр резьбы — по точкам пересечения перекрестия с изображением кромки боковой стороны профиля резьбы. Отсчет координат при измерении диаметров в одном сечении удобно вести последовательно (x_1, x_2, \dots, x_6) , после чего определяют диаметры резьбы, вычитая попарно координаты противоположных точек сечения, ограничивающих один диаметр.

Для исключения влияния остаточной неперпендикулярности оси резьбы к линии измерения на результат измерения среднего диаметра его определяют по двум противоположным сторонам профиля (левой и правой), для чего линию измерения смещают примерно на половину шага резьбы. За измеренный средний диаметр принимают среднее арифметическое результатов измерений по правым и левым сторонам профиля. Для оценки возможных погрешностей формы детали диаметры резьбы измеряют в нескольких сечениях (например, в трех по длине детали) в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Шаг резьбы контролируют в сечении, близком к сечению со средним диаметром резьбы. Горизонтальную линию марки AB (см. рис. 2.33) устанавливают примерно у середины изображения профиля резьбы. Шаги отсчитывают, последовательно наводя перекрестие марки окуляра на одноименные соседние стороны профиля резьбы в одном сечении вдоль оси резьбы (осевом). Условно различают шаги, измеренные по правым и по левым сторонам профиля (рис. 2.34). Кроме того, шаги можно измерять по обе стороны от оси резьбы — в "верхней" и "нижней" частях осевого сечения. Для компенсации погрешностей ориентирования детали на микроскопе за шаг резьбы принимают

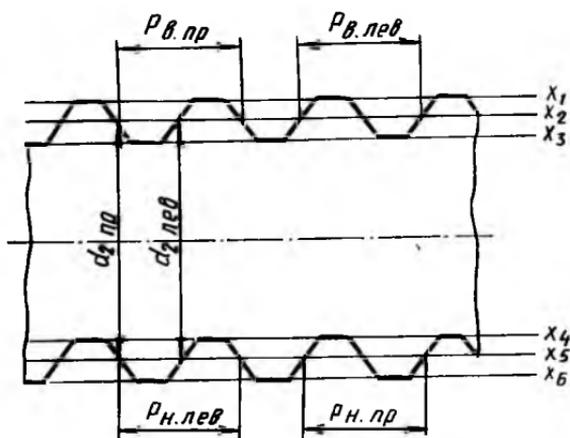


Рис. 2.34. Контроль параметров резьбы

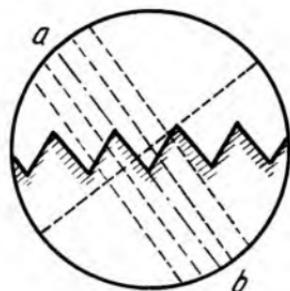


Рис. 2.35. Измерение угла наклона боковой стороны профиля резьбы с помощью микроскопа

средний из четырех измеренных разноименных шагов (верхний левый, верхний правый, нижний левый, нижний правый).

Для повышения достоверности результатов измеряют не один шаг резьбы, а любое выбранное их число n . При этом выявляют накопленную погрешность n шагов, которую делят на n для оценки погрешности одного шага. Значение накопленной погрешности также получают как среднее результатов измерений четырех групп n шагов.

Измерение шага или n шагов резьбы можно выполнять с использованием только отсчетного устройства микроскопа, при этом разность отсчитываемых координат равна измеренной длине шага (n шагов) резьбы. Можно также использовать блок концевых мер длины, равный номинальной длине n измеряемых шагов. В этом случае перекрестие марки окуляра наводят на одну из боковых сторон профиля, снимают первый отсчет, затем сдвигают стол микроскопа и устанавливают между микровинтом и упором стола заранее собранный блок концевых мер. Теоретически перекрестие марки должно совпадать при этом с изображением боковой стороны профиля переместившегося в середину поля зрения микроскопа нового витка резьбы. Отклонение профиля от теоретического положения измеряют по отсчетному устройству микроскопа и считают погрешностью шага или n шагов. Погрешность измерений при использовании концевых мер обычно несколько меньше, чем при непосредственной оценке шага резьбы, так как погрешность блока мер меньше накопленной погрешности отсчетного устройства микроскопа на одинаковой длине.

Измерение угла наклона боковой стороны профиля осуществляется поворотом марки микроскопа до совмещения "вертикальной" (при нулевом показании угломерной шкалы) линии ab марки с кромкой соответствующей боковой стороны профиля резьбы (рис. 2.35). Разность показания по угломерной шкале при этом положении марки и номинального значения угла наклона боковой стороны профиля (для метрической резьбы $\alpha/2 = 30^\circ$) и есть измеренное значение отклонения.

Контроль наклона боковых сторон профиля (рис. 2.36) также осуществляют в "верхнем" и "нижнем" сечениях резьбы (I...IV). Для компенсации погрешностей ориентирования резьбовой детали на микроскопе при расчете углов наклона одной из сторон профиля ("правой" или "левой") за измеренное значение угла принимают полусумму углов в "верхнем" и "нижнем" сечениях. Углы наклона "левых" и "правых" сторон

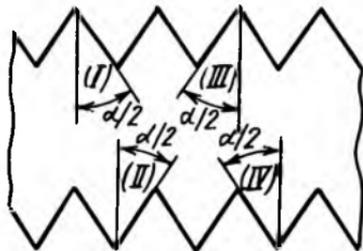


Рис. 2.36. Контроль углов с компенсацией погрешностей базирования

профиля могут оказаться разными (при этом возможен случай, когда угол профиля равен номинальному, но профиль отклоняется от номинального положения — так называемая "пьяная" резьба).

При контроле метрических резьб можно ограничиваться измерением отклонений углов наклона боковой стороны профиля от номинального значения (30°). Номинальный угол наклона воспроизводится между вертикальной линией марки окулярной головки микроскопа и одной из наклонных ее линий. Отклонение определяют следующим образом: первый отсчет при номинальном положении вертикальной линии марки равен нулю, второй, равный искомому отклонению, снимают после совмещения одной из наклонных линий марки с ближайшей кромкой боковой стороны профиля резьбы. Число и порядок отсчетов отклонений аналогичны принимаемым при измерении углов наклона боковой стороны профиля.

Обработка результатов измерений

Диаметры резьбы в выбранном сечении определяют из зависимостей (см. рис. 2.34): $d = x_1 - x_6$; $d_1 = x_3 - x_4$; $d_2 = x_2 - x_5$.

Исправленное значение среднего диаметра (для компенсации погрешности ориентирования детали) в выбранном сечении оценивают по формуле:

$$d_2 = (d_{2\text{пр}} + d_{2\text{лев}}) / 2.$$

Отклонение шага резьбы (для компенсации погрешности ориентирования детали) определяют из зависимостей:

$$P = \frac{nP_{\text{в.лев}} + nP_{\text{в.пр}} + nP_{\text{н.лев}} + nP_{\text{н.пр}}}{4n}$$

$$\Delta P = P - P_0$$

или

$$\Delta P = \frac{\Delta_n P_{\text{в.лев}} + \Delta_n P_{\text{в.пр}} + \Delta_n P_{\text{н.лев}} + \Delta_n P_{\text{н.пр}}}{4n}$$

Отклонение угла наклона боковой стороны профиля (исправленные значения) рассчитывают как (см. рис. 2.36)

$$\frac{\alpha_{\text{пр}}}{2} = \frac{\frac{\alpha}{2} (III) + \frac{\alpha}{2} (IV)}{2}, \quad \frac{\alpha_{\text{лев}}}{2} = \frac{\frac{\alpha}{2} (I) + \frac{\alpha}{2} (II)}{2},$$

$$\Delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} - 30^\circ$$

или

$$\Delta \frac{\alpha_{\text{пр}}}{2} = \frac{\Delta \frac{\alpha}{2} (III) + \Delta \frac{\alpha}{2} (IV)}{2}, \quad \Delta \frac{\alpha_{\text{лев}}}{2} = \frac{\Delta \frac{\alpha}{2} (I) + \Delta \frac{\alpha}{2} (II)}{2}.$$

Для оценки погрешности формы резьбовой поверхности по среднему диаметру определяют разность между исправленными значениями средних диаметров в различных сечениях резьбовой поверхности.

Порядок выполнения работы

1. Провести анализ требований к точности диаметров резьбы, формы резьбовой поверхности по среднему диаметру, угла наклона боковой стороны профиля и отклонениям шага резьбы.

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

3. Оценить погрешности измерений.

4. Выполнить измерения каждого контролируемого параметра. При необходимости уточнить МВИ. Результаты представить в табличной форме.

5. Провести анализ результатов измерений. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.

6. Оформить отчет о лабораторной работе.

2.6. КОНТРОЛЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

2.6.1. НОРМЫ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

Требования, предъявляемые к зубчатым передачам, зависят от назначения передач и условий их эксплуатации.

В отсчетных системах, делительных машинах главное внимание уделяется кинематической точности передачи, т.е. постоянству передаточного отношения за полный оборот зубчатого колеса. В скоростных и бесшумных передачах основное требование предъявляется к плавности их работы, т.е. к минимальному колебанию передаточного отношения в каждый момент зацепления. При передаче больших крутящих моментов требуется хорошее прилегание боковых поверхностей зубьев.

В зависимости от условий работы меняются требования и к боковому зазору между нерабочими профилями зубьев. В реверсивных передачах боковой зазор минимален, что позволяет предупреждать удары при перемене направле-

Гарантированные боковые зазоры $j_{n \min}$

Допуски боковых зазоров T_{jn}

Нулевая линия

Рис. 2.37. Виды сопряжений зубчатых колес и допуски боковых зазоров

ния вращения. Более значительный зазор делают в передачах, работающих при высоких температурах, и т.д.

В зависимости от точности изготовления различают двенадцать степеней точности зубчатых колес — с 1 по 12 в порядке ее убывания. В настоящее время допуски предусмотрены для степеней точности 3–12.

Для каждой степени точности зубчатых колес установлены нормы допускаемых отклонений параметров, определяющих кинематическую точность, плавность работы и контакт зубьев.

Точность изготовления зубчатых колес и передач задается степенью точности. Независимо от нее устанавливают виды сопряжений, которые определяют требования к боковому зазору. ГОСТ 1643–81 и СТ СЭВ 641–77 устанавливают шесть видов сопряжений (A, B, C, D, E, H) и восемь видов допуска (a, b, c, d, e, h, x, y, z) гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ (рис. 2.37).

С увеличением в сопряжении гарантированного бокового зазора $j_{n \min}$ предусматривается возрастание одноименно обозначаемого допуска. В большинстве случаев рекомендуется поддерживать определенное соответствие между видом сопряжения, допуском бокового зазора и классом отклонения межосевого расстояния (табл. 2.14).

Таблица 2.14

Степень точности зубчатых колес	Вид сопряжения	Допуск бокового зазора	Класс отклонений МОР
3–7	H	h	II
3–7	E	h	II
3–8	D	d	III
3–9	C	c	IV
3–11	B	b	V
3–12	A	a	VI

При установлении допусков по нормам точности разных степеней и изменений соответствия между видом допуска бокового зазора в обозначении пишутся три цифры (степени точности) и две буквы (вид сопряжения и допуск бокового зазора), а через косую черту указывается класс отклонения межосевого расстояния: 7-8 - 7 - Bc/IV ГОСТ 1643-81.

Для полной оценки геометрических параметров зубчатых колес необходимо обеспечить их контроль по показателям кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и боковому зазору в передаче.

Поскольку между элементами зубчатых колес существует взаимосвязь, устанавливают взаимозаменяемые контрольные комплексы (табл. 2.14).

Если зубчатые колеса по точности соответствуют требованиям данных норм, контроль зубчатой передачи необязателен; если собранная передача по точности отвечает требованиям норм, контроль точности зубчатых колес не является необходимым.

Выбор контрольного комплекса зависит от принятой технологии изготовления и состояния оборудования для производства зубчатых колес. Если существующей системой контроля технологического процесса обеспечивается требуемая точность изготовления и сборки зубчатых колес, непосредственный их контроль, а также контроль передач по всем показателям установленного контрольного комплекса, согласно положению стандарта, не являются обязательными.

Таблица 2.15

Нормы точности	Номер комплекса						
	1	2	3	4	5	6	7
	для степеней точности						
	3-8	3-8	3-8	3-8	7-12	5-12	5-12
	Показатели, нормируемые в комплексе						
По кинематике	F'_i	F_p и F_{pk}^1	F_r и F_{vW}^2	F_r и F_c	F_r^3	$F_i''^s$ и F_{vW}^4	$F_i''^s$ и F_c^4
Плавности работы	f_i'	f_{pb} и f_R^s или	f_{pb} и f_{pt} (f_{vpt})	f_{pt} или f_{vpt}			$f_i''^s$
Контакта зубьев	Пятно контакта или $F_{\beta'}$ или F_k						
Боковых зазоров	E_{Hs} и T_H или E_{Wms} и T_{Wm} или E_{Ws} и T_W или E_{cs} и T_c $E_{a''s}$ и $E_{a''i}$						

Примечание: 1 — только для степеней точности 3-6; 2 — только для диаметров до 1600 мм; 3 — для степеней точности 7 и 8 диаметров свыше 1600 мм; 4 — только для степеней точности 5-8; 5 — только для диаметров до 1600 мм.

Выбор контрольного комплекса зависит от масштабов производства, требуемой точности и типоразмеров изготавливаемых зубчатых колес, наличия зубоизмерительных средств, а также назначения проверяемых зубчатых колес. Следует учитывать и цель измерений, так как, во-первых, контроль изготовленной партии колес может быть произведен для выявления и изъятия бракованных деталей (приемочный контроль), а во-вторых, измерения зубчатых колес в процессе их изготовления осуществляются с целью оперативного наблюдения за технологическим процессом.

При приемочном контроле зубчатых колес рекомендуется совмещать измерительную базу с монтажной (конструкторской), за которую принимают поверхность, определяющую положение детали в собранном узле или механизме. При технологическом контроле измерительную базу следует совмещать с технологической. Для выполнения этих условий при приемочном контроле в качестве измерительной базы принимают рабочую ось колеса – основную измерительную базу. При технологическом контроле измерения готового зубчатого колеса следует производить непосредственно на зуборезном станке, т. е. не снимая колесо со станка.

В стандарте указано, что каждый из контрольных комплексов является равнозначным, однако при установлении контрольного комплекса для готовых зубчатых колес следует отдавать предпочтение комплексным показателям. Поэлементный контроль геометрических показателей выявляет относительное положение элементов зубчатых колес. Выбор поэлементных показателей точности вместо комплексных может быть произведен при отсутствии на предприятии средств измерения для контроля комплексного показателя или необходимости выявления технологических погрешностей (с целью подналадки технологического процесса) с помощью измерения показателей точности зубчатых колес.

2.6.2. ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Основные показатели кинематической точности. Наиболее полно кинематическая точность колес выявляется при измерении кинематической погрешности или накопленной погрешности шага зубчатого колеса.

Вместо этих параметров могут быть использованы другие контрольные комплексы, содержащие требования к двум параметрам колеса, так как возникновение погрешностей кинематических перемещений за полный оборот колеса происходит из-за погрешностей кинематических перемещений элементов зуборезного станка (тангенциальная составляющая кинематической погрешности) и от неточной установки заготовки колеса относительно оси зубообрабатывающего станка (радиальная составляющая кинематической погрешности).

При нормировании контрольных комплексов по нормам кинематической точности погрешность обката, колебание длины общей нормали характеризуют тангенциальную составляющую кинематической погрешности, а колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса, радиальное биение зубчатого венца характеризуют радиальную составляющую кинематической погрешности.

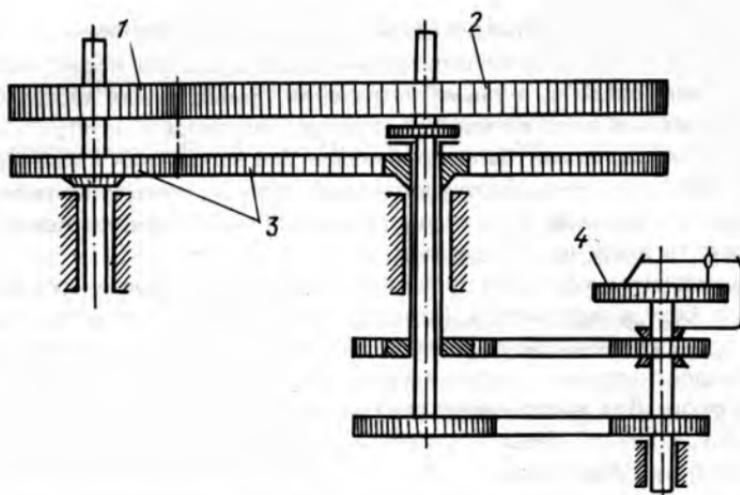


Рис. 2.38. Схема измерения кинематической погрешности колеса

Измерение кинематической погрешности колеса. Под кинематической погрешностью колеса понимается разность действительного и номинального углов поворота колеса на его рабочей оси, ведомого точным колесом, при отсутствии непараллельности и перекоса осей вращения этих колес.

Кинематическая погрешность колеса (рис. 2.38) определяется при сравнении углов поворота ведомых звеньев двух систем, из которых одна состоит из зубчатой передачи (1, 2), другая (3, 4) — из механизма прибора, обеспечивающего передачу с заданным передаточным отношением. При применении современных электронных устройств контроль сводится к измерению угловых перемещений ведомого звена с помощью импульсных преобразователей, блока настройки на требуемое передаточное число, сумматора и самописца.

Измерение накопленной погрешности шага зубьев и накопленной погрешности k шагов. За накопленную погрешность шага принимают погрешность при неправильном относительном расположении двух одноименных профилей зубьев на одной окружности колеса, проходящей по середине высоты зубьев, с центром на рабочей оси колеса в перпендикулярном к ней сечении.

Измерение накопленной погрешности шага осуществляется двумя методами: непосредственной оценки и сравнения с мерой.

По методу непосредственной оценки измерения производятся с помощью угломерных устройств измерительного прибора, для чего можно использовать любой станковый прибор, применяемый для угловых измерений (делительную головку, делительный стол, универсальный микроскоп и др.).

Контролируемое колесо устанавливается соосно с угломерным лимбом. Измерительный наконечник приводится в соприкосновение с профилем колеса после его поворота на угловой шаг ($\tau = 2\pi/z$) и возвращается в исходное положение, измерив при этом отклонение углового шага от его теоретического значения. Сумма наибольших положительного и отрицательного отклонений угловых шагов, полученная при измерении этого параметра по всей окружности колеса, составляет накопленную погрешность окружного шага зубьев колеса в угловых единицах.

Основным недостатком данного метода измерения является его трудоемкость.

Метод сравнения с мерой при измерении накопленной погрешности шага зубчатого колеса заключается в определении равномерности расположения зубьев путем сравнения измеряемых шагов или группы шагов с произвольно выбранным шагом или группой шагов зубьев колеса, по которым производится настройка прибора.

В результате измерения накопленной погрешности шага зубчатого колеса или части окружности методом сравнения с мерой получают заниженное значение погрешности. Измерение этим методом более производительнее и используемые приборы просты и надежны.

Контроль погрешности обката. Погрешность обката можно выявить с помощью приборов для измерения кинематической погрешности зубчатого колеса или измерить накопленную погрешность шага при исключении радиальной составляющей, т.е. погрешности от установки колеса на обрабатываемом станке.

Выявление погрешности обката дает возможность определить причины ее появления, т.е. осуществить контроль всех составляющих технологического процесса: станка, приспособления, инструмента, детали.

Измерение колебания длины общей нормали. Измерение $F_{V_{Wr}}$ можно производить зубомерными микрометрами, нормалемерами и другими измерительными приборами, имеющими две параллельные плоскости, соприкасающиеся с разноименными профилями зубьев. Длина нормали W представляет собой сумму нескольких шагов зацепления pb и толщины зуба sb по дуге основной окружности колеса:

$$W = pb(z_n + 1) + sb,$$

где z_n — число зубьев, находящихся на длине общей нормали и охватываемых при измерении.

При обработке зубьев колеса в результате погрешностей обката длина общей нормали меняется, увеличиваясь на одном участке зубчатого венца и уменьшаясь на другом. Поэтому колебание длины общей нормали V_{Wr} используют в качестве показателя кинематической погрешности колеса (тангенциальной ее составляющей) и определяют как разность наибольшей и наименьшей действительной длины общей нормали.

При измерении колебания длины общей нормали прибор настраивают на размер по произвольной группе z_n зубьев колеса, а затем определяют наибольшую разность показаний, полученных при измерении других групп зубьев колеса: $V_{Wr} = W_1 - W_2$.

Число зубьев, охватываемых губками прибора, $z_n = z/9 + 0,5$ (с округлением до ближайшего целого числа).

Преимущество данного метода измерения — простота и отсутствие промежуточной измерительной базы.

Измерение колебания измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса. При окончательном контроле зубчатых колес степеней точности 5—9 определяют колебание измерительного межосевого расстояния

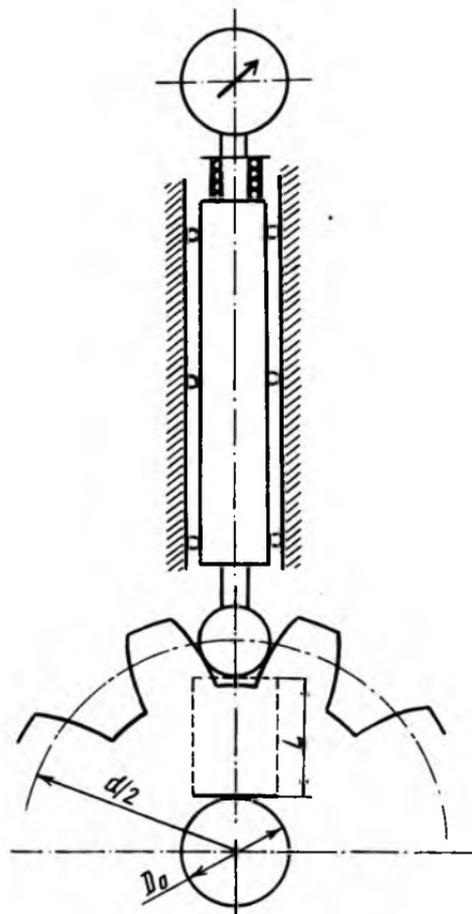


Рис. 2.39. Схема измерения радиального биения зубчатого венца колеса

мой элемент исходного контура, условно наложенного на профиль зубьев колеса.

Причинами радиального биения являются неточность установки заготовки колеса на станке, а также эксцентриситет делительного червячного колеса станка. Кроме того, на радиальное биение в значительной мере влияют биение и перекос зуборезного инструмента.

Радиальное биение измеряют специальными приборами — биениемерами или на универсальных зубоизмерительных приборах.

Во всех случаях радиальное биение определяют по положению измерительного наконечника, соприкасающегося с боковыми поверхностями двух соседних зубьев (рис. 2.39) колес.

Измерительные наконечники моделируют форму зуба исходного контура и выполняются в виде усеченного конуса с углом при вершине $2\alpha = 40^\circ$ или сферы.

между контролируемым и измерительными колесами при их совместной обкатке в двухпрофильном (беззазорном) зацеплении. Вследствие высокой производительности и конструктивной простоты средств измерений этот метод широко используют при серийном и массовом производстве зубчатых колес. Приборы для комплексного контроля двухпрофильных зацеплений (МЦМ-160, МИМ-320М, МЦМ-400Б, БВ-5029) универсальны, позволяют контролировать колеса разных размеров. Они снабжены приспособлениями для проверки цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацеплений, конических и червячных передач. Контроль в двухпрофильном зацеплении легко автоматизируется.

Недостатком данного метода является то, что при контроле выявляются только радиальные составляющие кинематической погрешности колеса.

Измерение радиального биения зубчатого венца. Оно является дискретным измерением радиальной составляющей кинематической погрешности колеса. Радиальное биение зубчатого венца F_{rr} определяют по наибольшей разности расстояний от оси вращения колеса до делительной пря-

Измерение циклической погрешности колеса (передачи), зубцовой частоты передачи и местной кинематической погрешности. Под циклической погрешностью понимают составляющую кинематической погрешности колеса, периодически повторяющуюся за один его оборот. Обычно она определяется как средний размах колебаний кинематической погрешности колеса с некоторой частотой, например равной частоте входа зубьев в зацепление, или другой, взятой по всем циклам за оборот колеса. Таким образом, на приборах для контроля в однопрофильном зацеплении определяют не только кинематическую погрешность колеса, но и местную кинематическую погрешность (по разности между соседними экстремальными значениями погрешности) и циклическую погрешность (по среднему значению показаний прибора при многократно повторяющихся измерениях в пределах одного оборота контролируемого колеса).

Наиболее совершенным способом выделения циклических погрешностей является гармонический анализ результатов измерения кинематической погрешности.

Измерение отклонений шага зубчатого колеса. При измерении отклонений шагов последовательно измеряют соседние шаги и сравнивают их с любым произвольно выбранным шагом, по которому был настроен прибор. Для этого используют станковые и накладные шагомеры.

Метод измерения отклонений шагов имеет ряд недостатков, ограничивающих его применение. Точность измерения зависит от расположения измерительного и координирующего наконечников (они должны находиться на одной окружности колеса). Положение наконечников определяют визуально, что не может обеспечить высокую точность измерений. При использовании накладных шагомеров базирование неподвижных наконечников по цилиндру выступов колеса может привести к погрешности результатов измерений вследствие возможного биения наружной поверхности колеса относительно его оси.

Измерение шага зацепления. Под действительным шагом зацепления понимают расстояние между параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным активным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса.

Отклонение шага зацепления от номинального измеряют с помощью шагомера с параллельными контактными поверхностями. Шагомер настраивается на шаг с помощью специального приспособления. Настройку проводят по блоку концевых мер.

Контроль профиля зубьев. Погрешность профиля f_{fr} — расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными торцовыми профилями, между которыми находится действительный торцовый активный профиль зуба зубчатого колеса. Под действительным торцовым профилем зуба понимается линия пересечения действительной боковой поверхности зубчатого колеса с плоскостью, перпендикулярной к его рабочей оси.

Проверка профиля зубьев цилиндрических колес производится сопоставлением действительного профиля зубьев с теоретической формой профиля, очерченной по эвольвенте. Проверки производятся: сопоставлением действительного размера зуба с контуром шаблона (проверка на просвет); сличением

проекции контура зуба, увеличенного проектором в 10...100 раз, с теоретическим контуром, вычерченным с тем же увеличением; измерением отклонений действительного профиля от теоретической эвольвенты, воспроизводимой измерительным наконечником эвольвентомера в его движении относительно проверяемого зубчатого колеса. При этом достигается наиболее высокая точность измерений.

Измерение колебаний измерительного межосевого расстояния на одном зубе. Измерение этого параметра производят на приборах для комплексного контроля в двухпрофильном зацеплении (межцентромерах).

2.6.4. ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛНОТЫ КОНТАКТА ЗУБЬЕВ

Измерение суммарного пятна контакта. Качество контакта поверхностей зубьев можно определять непосредственно в собранной передаче, а также на контрольно-обкатных станках или специальных стендах при зацеплении контролируемого колеса с измерительным. Для контроля пятна контакта боковую поверхность меньшего или измерительного колеса покрывают слоем краски толщиной не более 4...6 мкм и производят обкатку колес при номинальном межосевом расстоянии. В качестве красителя применяют свинцовый сурик, берлинскую лазурь. Краску наносят на предварительно обезжиренную поверхность зубьев тампоном из плотной ткани.

Наиболее правильным является определение пятна контакта колес после некоторого периода работы передачи, т.е. по следам приработки.

Измерение погрешности направления зуба. Оценка точности контакта боковой поверхности зубьев в передаче может быть выполнена отдельным контролем элементов, влияющих на продольный и высотный контакты зубьев колес.

Продольный контакт широких косозубых колес контролируется приборами для проверки шага зацепления по отклонению суммы шагов по ширине колеса.

Для узких косозубых колес применяют ходомеры, контролирующие направление винтовой линии боковой поверхности зубьев.

Высотный контакт зубьев контролируется контактомерами.

2.6.5. ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БОКОВОГО ЗАЗОРА

Измерение бокового зазора между нерабочими боковыми поверхностями зубьев колес. Непосредственное измерение производят в собранной передаче. Простейшим является определение зазора с помощью щупа.

Для определения бокового зазора при повороте колеса между зубьями, входящими в зацепление, закладывают проволочку со стороны нерабочих поверхностей зубьев. В момент прохождения зубьями зоны зацепления проволочка обжимается в пределах бокового зазора. Толщину обжатой проволочки измеряют в наиболее узком месте.

Существует пять наиболее распространенных методов определения бокового зазора в передаче (рис. 2.40) путем измерения: межосевого расстояния a , определяемого размерами зуба при комплексном контроле с измерительным колесом (рис. 2.40, а); радиального смещения исходного контура относительно рабочей оси колеса или цилиндра выступов (рис. 2.40, б); толщины зу-

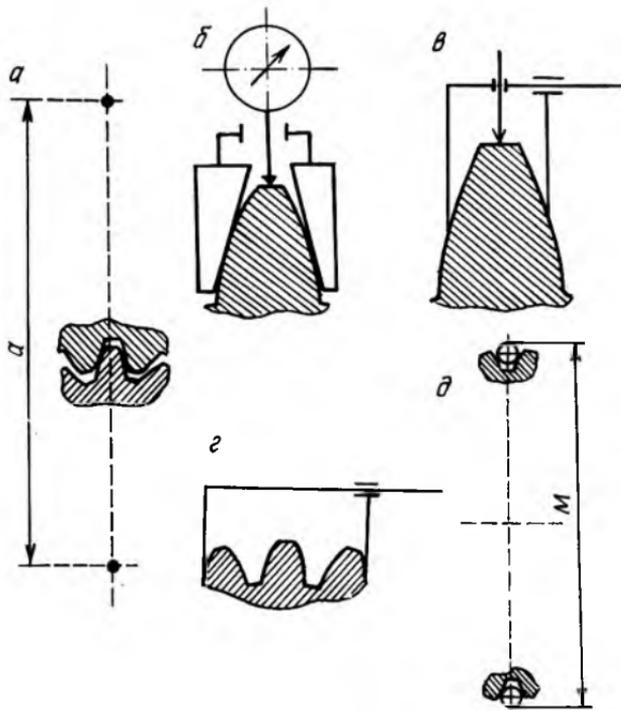


Рис. 2.40. Схемы измерения показателей бокового зазора зубчатого колеса

ба по хорде на заданном расстоянии от окружности выступов (рис. 2.40, в); длины общей нормали, размер которой зависит от толщины зуба (рис. 2.40, з); размера по роликам M , определяемого смещением исходного контура (рис. 2.40, г).

Контроль измерительного межосевого расстояния. Этот параметр выявляют в процессе комплексного контроля в двухпрофильном зацеплении одновременно с измерением колебания измерительного межосевого расстояния за оборот колеса (по нормам кинематической точности) и на одном зубе (по нормам плавности работы). Для определения показателей, характеризующих боковой зазор в передаче, прибор предварительно настраивают на номинальное (теоретическое) межосевое расстояние. Действительное межосевое расстояние определяется после введения колес в плотное зацепление, а отклонение его в ту или иную сторону зависит в основном от толщины зубьев контролируемого колеса, т.е. величины, характеризующей боковой зазор в передаче. Настройку прибора на номинальное межосевое расстояние осуществляют по шкале прибора или с помощью концевых мер длины, устанавливаемых между оправками, или с помощью аттестованных дисков, посаженных на оправки прибора.

Измерение смещения исходного контура. В реальном колесе минимальное утонение зуба создается при наименьшем смещении исходного контура, а максимальное — вследствие наличия допуска смещения.

Контроль смещения исходного контура осуществляется с помощью зубомера смещения (тангенциального). Предварительно зубомер устанавливают в

соответствии с номинальным положением исходного контура по ролику, диаметр которого определяется модулем контролируемого колеса (ролики входят в комплект прибора).

Смещение исходного контура может быть определено также с помощью станковых приборов, например универсальным зубоизмерительным прибором и биениемером.

Измерение толщины зуба. Толщину зуба (по постоянной хорде) измеряют хордовым зубомером (штангензубомером), а также при помощи роликов. Косвенное измерение смещения исходного контура с помощью роликов или проволочек реализуется с повышенной точностью вследствие использования образцовых роликов и высокоточных приборов для измерения размера по роликам.

Измерение средней длины общей нормали. При измерении отклонения средней длины общей нормали предварительно подсчитывают номинальную длину общей нормали по формуле, которая для прямозубых колес имеет следующий вид:

$$W = m \cos \alpha [\pi (z_n - 0,5) + z_n \operatorname{inv} \alpha],$$

где m – модуль колеса; α – угол исходного контура; $\operatorname{inv} \alpha$ – инволюта угла исходного контура, определяемая по таблицам.

Среднюю длину общей нормали W находят как среднее арифметическое из всех измеренных действительных длин общих нормалей зубчатого колеса.

Отклонение средней длины общей нормали $A_{Wm r} = W_m - W$.

Лабораторная работа 16

Контроль параметров кинематической точности зубчатых колес

Ц е л ь р а б о т ы: изучить методы и средства контроля параметров, характеризующих кинематическую точность зубчатых колес.

З а д а ч и: 1. Проанализировать требования к точности зубчатого колеса.

2. Измерить параметры, характеризующие кинематическую точность зубчатого колеса.

3. Дать заключение о годности колеса по контролируемым параметрам.

О б ъ е к т к о н т р о л я: прямозубое цилиндрическое зубчатое колесо с $m = 2...5$ мм, $z = 20...40$, степень точности зубчатого колеса 7...9, вид сопряжения и допуск бокового зазора – произвольные.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковый прибор: межцентромер (МЦ).

Накладной прибор: нормалемер.

Меры и вспомогательные устройства: колеса измерительные, плоскопараллельные концевые меры длины и принадлежности к ним.

Методы измерений

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

Выполнение измерений

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

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

При измерении колебания длины общей нормали губки нормалемера настраивают на произвольную общую нормаль колеса. Число зубьев z_n , определяющих длину общей нормали, рассчитывают по формуле:

$$z_n = z / 9 + 0,5,$$

где z — число зубьев колеса.

Рассчитанное значение z_n округляют до ближайшего большего целого числа.

Оформление результатов измерений

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

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

Результаты измерений представляют с указанием погрешностей.

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности зубчатого колеса, подлежащего контролю.

2. Оценить погрешности измерений.

3. Измерить отклонения межосевого расстояния от произвольного настроенного размера и определить колебание межосевого расстояния.

4. Рассчитать число зубьев, укладываемых на длине общей нормали колеса.

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

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

7. Дать заключение о годности зубчатого колеса по норме кинематической точности.

Лабораторная работа 17

Контроль параметров плавности работы зубчатых колес

Ц е л ь р а б о т ы: изучить методы и средства контроля параметров, характеризующих плавность работы зубчатого колеса.

З а д а ч и: 1. Проанализировать требования к точности зубчатого колеса.

2. Измерить параметры, характеризующие плавность работы зубчатого колеса.

3. Дать заключение о годности колеса по контролируемым параметрам.

О б ъ е к т к о н т р о л я: прямозубое цилиндрическое зубчатое колесо с $m = 2...5$, $z = 20...40$ зубьев; степень точности зубчатого колеса 7...9; вид сопряжения и допуск бокового зазора – произвольные.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковый прибор: эвольвентомер.

Накладной прибор: шагомер тангенциальный.

Меры и вспомогательные устройства: принадлежности к шагомеру, набор концевых мер длины.

Методы измерений

При измерении шагомером шага зацепления используется метод сравнения с мерой. Измерение погрешности профиля зуба на эвольвентомере выполняется методом непосредственной оценки.

Выполнение измерений

Контроль нормы плавности работы зубчатого колеса предусматривает измерение двух показателей, входящих в комплекс оценки нормы плавности работы колеса, – отклонения шага зацепления и погрешности профиля зуба.

Перед началом измерений шага зацепления шагомер настраивают по блоку концевых мер длины, установленному в струбцину со специальными боковиками из принадлежностей к шагомеру. Шаг зацепления p_a определяют из зависимости: $p_a = \pi m \cos \alpha$.

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

Настраивают эвольвентомер и контролируют погрешность профиля зуба (или нескольких зубьев) по "правому" и "левому" профилям. Фиксируют значения погрешностей профиля зуба.

Оформление результатов измерений

Из измеренных значений отклонений шага зацепления отыскивают максимальное, которое подлежит сравнению с предельным отклонением шага по заданной степени точности. Аналогично максимальное измеренное отклонение профиля сравнивают с допуском погрешности профиля зуба.

Результаты измерений представляют с указанием значений погрешностей

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности зубчатого колеса, подлежащего контролю.
2. Оценить погрешности измерений.
3. Настроить прибор на номинальный шаг зацепления и измерить отклонения шагов по "правому" и "левому" профилям. Определить максимальное отклонение шага зацепления.
4. Измерить отклонения профилей зубьев по "правым" и "левым" профилям, определить максимальное отклонение профиля.
5. Сравнить измеренные значения шага зацепления и отклонения профиля зуба с предельными допускаемыми значениями.
6. Дать заключение о годности колеса по норме плавности работы.

Лабораторная работа 18

Контроль параметров, характеризующих нормы бокового зазора зубчатых колес

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методов и средств контроля параметров, характеризующих боковой зазор зубчатого колеса.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности зубчатого колеса.
2. Измерить параметры, характеризующие нормы бокового зазора зубчатого колеса.

3. Дать заключение о годности колеса по контролируемому параметру.

О б ъ е к т к о н т р о л я: цилиндрическое зубчатое колесо с $m = 1...5$, $z = 18...50$; степень точности зубчатого колеса 7...9; вид сопряжения и допуск бокового зазора – произвольные.

Средства измерений

Накладные приборы: штангензубомер, штангенциркуль.

Метод измерений

При измерении толщины зуба используется метод непосредственной оценки.

Выполнение измерений

Перед началом измерений прибор настраивают на расчетное значение высоты до постоянной хорды \bar{h}_c от окружности выступов, которое определяют из зависимости

$$\bar{h}_c = d_{aD} / 2 - G,$$

где d_{aD} – действительное значение наружного диаметра; $G = \frac{d}{2} + \left(\frac{\pi}{8} \sin 2\alpha + x \sin^2 \alpha \right) m$; d – диаметр делительной окружности; x – коэффициент смещения.

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

Оформление результатов измерений

Длина постоянной хорды

$$\bar{s}_c = 1,387 m_n,$$

где m_n — нормальный модуль.

Наибольшая и наименьшая допустимая толщина зуба по постоянной хорде:

$$\bar{s}_{c \max} = \bar{s}_c - E_{cs \text{ пр}};$$

$$\bar{s}_{c \min} = \bar{s}_c - (E_{cs \text{ пр}} + T_{c \text{ пр}}).$$

Входящие в расчетные формулы наименьшие отклонения толщины зуба $E_{cs \text{ пр}}$ и допуск толщины зуба $T_{c \text{ пр}}$ находят следующим образом. Определяют значения E_{cs} и T_c из стандартов (ГОСТ 1643—81 или СТ СЭВ 641—77) исходя из допуска радиального биения зубчатого венца F_r , вида сопряжения, вида допуска бокового зазора и степени точности зубчатого колеса, а затем — производственные отклонения и допуск толщины зуба.

При измерении толщины зуба с использованием в качестве измерительной базы диаметра выступов производственное отклонение и допуск толщины зуба определяют по формулам:

$$E_{ce \text{ пр}} = |E_{ce}| + 0,09 T_{ce};$$

$$T_{ce \text{ пр}} = 0,8 T_c.$$

Результаты измерений толщины ряда зубьев можно представить в виде табл. 2.15 с описанием значений погрешностей измерений.

Таблица 2.15

Номер зуба

\bar{s}_c , мм

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать основные требования к точности зубчатого колеса, подлежащего контролю.
2. Оценить погрешность измерений.
3. Определить расчетное значение высоты до постоянной хорды.
4. Определить допустимую толщину зуба.
5. Полученные значения толщины зубьев по постоянной хорде сравнить с наибольшим и наименьшим допустимыми значениями.

6. Дать заключение о годности зубчатого колеса по контролируемому параметру.

2.7. Автоматизация контроля размеров деталей

Контроль и измерения автоматизируются на различных уровнях: от автоматического выполнения элементов измерительных (контрольных) операций до полной автоматизации с помощью измерительных роботов и контрольно-сортировочных автоматов. В зависимости от воздействия на технологический процесс различают активный и пассивный контроль. Поскольку результаты контроля в большинстве случаев могут использоваться для корректировки технологического процесса (исключение составляет входной контроль изделий, изготовленных и поставляемых другим предприятием), под активным понимают контроль, осуществляемый непосредственно в процессе выполнения технологической операции, результаты которого используются для автоматического управления технологическим процессом через обратную связь.

Автоматизация контроля может осуществляться: автоматизацией получения сигнала измерительной информации с помощью, например, электрических измерительных преобразователей; автоматизацией обработки измерительной информации с помощью ЭВМ или процессора; автоматизацией вспомогательных операций (транспортирование детали на измерительную позицию, ее фиксация, подвод чувствительных элементов к контролируемым поверхностям и др.).

Для контроля размеров деталей в процессе обработки или по ее окончании часто используют электроконтактные предельные измерительные преобразователи. Если контакты преобразователя настроены на срабатывание по наибольшему и наименьшему предельным размерам, отсутствие сигнала о замыкании контактов в процессе измерения свидетельствует о годности детали по контролируемому параметру.

Для контроля отклонений формы и расположения поверхностей применяют электроконтактные амплитудные измерительные преобразователи. Скользящий подвижный контакт позволяет настраивать эти преобразователи на срабатывание при определенном размахе значений контролируемой величины. Использование таких преобразователей позволяет контролировать отклонения формы и расположения поверхностей как алгебраическую сумму отклонений от произвольно установленных значений (например, можно контролировать радиальное биение, причем измерительный преобразователь самоустанавливается по наибольшему или наименьшему радиусу).

Измерительные преобразователи, обеспечивающие получение значения измеряемого размера или отклонения, такие, как индуктивные, растровые, фотоэлектрические, пневматические и другие, могут использоваться для контроля и сортировки контролируемых изделий на группы для последующей селективной сборки. Число групп сортировки обычно на две больше, чем число групп селективной сборки, так как добавляются две группы брака: исправимый (по проходному пределу) и неисправимый (по непроходному).

Использование измерительных преобразователей для автоматизации контроля эффективно только при правильной их настройке, поэтому для любого преобразователя особо важно определить методику настройки, оценить

погрешности измерений аналитически, а при необходимости проверить их экспериментально. Это относится и к средствам операционного контроля, обслуживаемым вручную оператором, и к полуавтоматическим и автоматическим контрольным и измерительным установкам.

Лабораторная работа 19

Автоматизированный контроль линейных размеров

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методики настройки предельных измерительных преобразователей.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства ее приемочного контроля по заданным параметрам.

2. Проконтролировать заданные размеры детали и зафиксировать результаты.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

О б ъ е к т к о н т р о л я: гладкий или ступенчатый валик.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: электроконтактный или пневмоэлектроконтактный измерительный преобразователь на стойке и сигнальное устройство к нему; индуктивный, емкостный, фотоэлектрический преобразователи с пороговым сигнальным устройством, закрепленные на стойке или штативе.

Меры и вспомогательные устройства: набор плоскопараллельных концевых мер длины; аттестованные детали.

Методы контроля

При автоматизированном контроле линейных размеров используется метод сравнения с мерой, причем в качестве меры выступает блок концевых мер или мера в виде аттестованной детали.

Выполнение измерений

Измерительный преобразователь настраивают на предельные размеры. Для этого рассчитывают размер, собирают блок концевых мер или выбирают образцовую деталь соответствующего размера и настраивают преобразователь на меру так, чтобы при измерении такого размера замыкался контакт или срабатывало другое пороговое устройство.

Контроль цилиндрической поверхности осуществляют в нескольких сечениях. Поиск диаметра детали выполняют за счет перемещения детали на плоскости стола перпендикулярно к линии измерения.

Оформление результатов измерений

Результаты контроля могут быть оформлены в виде табл. 2.16.

Направление измерения	Срабатывание индикатора сигналов при контроле вала $\varnothing 20g 7$ о выходе за предельный размер							
	наименьший в сечении				наибольший в сечении			
	1-1	2-2	3-3	...	1-1	2-2	3-3	...
A-A								
B-B								

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности размеров детали, подлежащих контролю.

2. Выбрать предварительную методику контроля для каждой поверхности (схему контроля, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства, методы поиска экстремальных значений размеров и т.д.).

3. Оценить погрешности измерений.

4. Выполнить контроль всех заданных параметров. При необходимости уточнить методику контроля. Зафиксировать результаты.

5. Проанализировать результаты контроля. Дать заключение о годности детали по контролируемому параметру.

6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 20

Автоматизированный контроль радиального и торцевого биений поверхностей

Ц е л ь р а б о т ы: изучение методики настройки амплитудных измерительных преобразователей.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемой детали, выбрать методы и средства ее приемочного контроля по заданным параметрам.

2. Проконтролировать заданные отклонения формы и расположения поверхностей и зафиксировать результаты.

3. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.

О б ъ е к т к о н т р о л я: ступенчатый валик.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: амплитудный электроконтактный преобразователь на стойке или штативе и сигнальное устройство к нему.

Меры и вспомогательные устройства: набор плоскопараллельных концевых мер длины, аттестованные образцовые валики со ступеньками, плита по-

верочная, призмы, торцевой упор с регулируемым по высоте сферическим наконечником.

Метод контроля

Для автоматизированного контроля радиального и торцевого биений поверхности используется метод их сравнения с предельными значениями, воспроизводимыми образцовой мерой или двумя блоками концевых мер.

Выполнение измерений

Измерительный преобразователь 3 (рис. 2.41) настраивают по аттестованной мере 2 со ступенькой, которая воспроизводит заданное радиальное или торцевое биение. Для этого аттестованный валик устанавливают базовыми поверхностями в призмах 1, а наконечник преобразователя настраивают, например, на минимальное значение радиуса-вектора образцового валика (рис. 2.41, а) и добиваются замыкания нижнего регулируемого контакта преобразователя с подвижным (плавающим) контактом. Затем, поворачивая аттестованный валик в призмах, добиваются положения измерительного наконечника, соответствующего максимальному значению радиуса-вектора (рис. 2.41, б), и в этом положении настраивают на замыкание верхний регулируемый контакт преобразователя. При этом перемещение подвижного контакта от одного регулируемого контакта преобразователя до второго соответствует настроенному значению биения. Срабатывание при контроле биения детали только одного из регулируемых контактов свидетельствует о том, что реальное биение поверхности меньше предельно допустимого.

Аналогично настраивают измерительный преобразователь для контроля торцевого биения. Валик с аттестованной ступенькой на торце устанавливают боковыми поверхностями в призмы, центр торца подпирают переставным сферическим упором и последовательно настраивают регулируемые контакты.

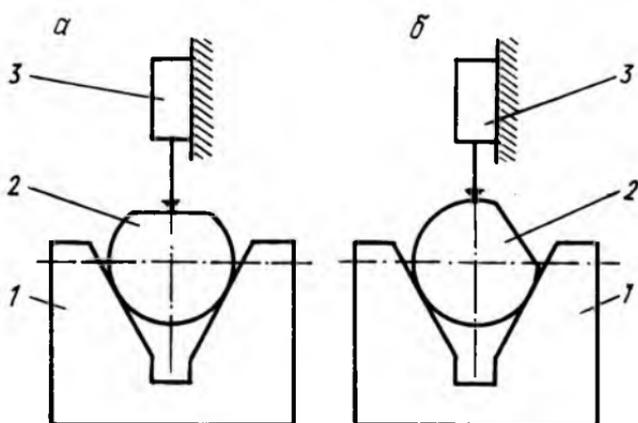


Рис. 2.41. Настройка электроконтактного измерительного преобразователя по аттестованной мере (валику с лыской):

а — на нижнюю границу допуска; б — на верхнюю

При отсутствии образцовых аттестованных валиков настройку можно произвести по двум блокам концевых мер, разность размеров которых соответствует значению допуска контролируемого биения. Настройку следует вести последовательно в порядке увеличения контролируемого размера, чтобы при настройке второго регулируемого контакта не нарушилась настройка первого.

Количество контролируемых сечений выбирают в зависимости от конфигурации детали, если оно не определяется требованиями точности к ней. Контроль биения в каждом сечении производится при повороте детали не менее чем на один оборот. Желательно отступать от края контролируемой поверхности на несколько миллиметров, чтобы "завалы" краев не оказали существенного влияния на результаты измерений.

Оформление результатов измерений

Результаты контроля могут быть оформлены в виде табл. 2.17.

Т а б л и ц а 2.17

Значение биения меньше допустимого при контроле поверхностей				
радиального в сечениях			торцевого на диаметрах	
1—1	2—2	3—3	30	50

Порядок выполнения работы

1. Проанализировать требования к точности параметров детали, подлежащих контролю.
2. Выбрать предварительную методику контроля для каждой поверхности (схему контроля, количество контролируемых сечений, средства измерений, вспомогательные устройства и др.).
3. Оценить погрешности измерений.
4. Выполнить контроль всех заданных параметров. При необходимости уточнить методику контроля. Зафиксировать результаты.
5. Проанализировать результаты контроля. Дать заключение о годности детали по контролируемым параметрам.
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Лабораторная работа 21

Сортировка валиков на группы по диаметру

Ц е л ь р а б о т ы: оценка рассеивания размеров деталей в партии однородных валиков.

З а д а ч и: 1. Провести анализ требований к точности контролируемого размера и групповых.

2. Рассортировать детали на группы, включая группы с браком исправимым и неисправимым.

3. Оценить результаты сортировки.

О б ъ е к т к о н т р о л я: партия валиков объемом более 50 шт.

Средства измерений и вспомогательные устройства

Станковые приборы: индуктивный, емкостный или фотоэлектрический измерительный преобразователь на стойке.

Меры и вспомогательные устройства: набор плоскопараллельных концевых мер длины или аттестованный образцовый валик.

Методы измерений

При измерении диаметра валиков используется метод сравнения с мерой при настройке узкодиапазонного измерительного преобразователя по блоку концевых мер или аттестованной детали либо метод непосредственной оценки (если измеряемый размер меньше диапазона измерений).

Выполнение измерений

Измерительный преобразователь настраивают на нуль по концевой мере для сортировки деталей по отклонениям диаметра или устанавливают нулевое показание при контакте измерительного наконечника со столиком. Определяют границы групп сортировки и закладывают их значения в логическое устройство преобразователя (если оно есть).

Намечают методику выполнения измерений (МВИ). Для разработки МВИ производят измерения в выбранных сечениях одной или нескольких деталей, определяют разность наибольшего и наименьшего найденных размеров. Разность экстремальных диаметров должна быть меньше группового допуска, в противном случае сортировка деталей на группы теряет смысл. На основании проведенных измерений выбирают одно сечение детали для контроля при сортировке.

Выполняют измерения всех деталей партии, сортируют их по группам, включая группы с браком исправным и неисправным.

Обработка и оформление результатов измерений

По результатам измерений определяют частоту деталей в каждой группе и строят гистограмму. При наличии ЭВМ данные вводят для статистической обработки по программе, в соответствии с которой оценивают характер закона распределения размеров и рассчитывают значения его параметров. При обработке данных с помощью микрокалькулятора рассчитывают значения оценок среднего арифметического и среднего квадратического отклонений, исключают результаты измерений с грубыми погрешностями.

Порядок выполнения работы

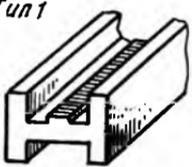
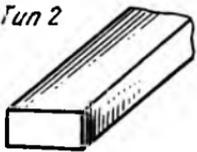
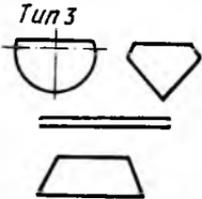
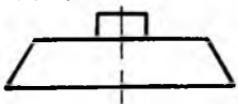
1. Проанализировать требования к сортировке деталей на группы.
2. Выбрать методику выполнения измерений (МВИ) размеров одной детали (схему измерений, метод поиска экстремального значения и т.д.).
3. Оценить погрешности измерений, назначить МВИ размеров деталей выборки, обеспечивающую требуемую точность сортировки.
4. Измерить размеры всех деталей, зафиксировать результаты.
5. Выполнить статистическую обработку результатов измерений, определить вид и параметры закона их распределения.
6. Проанализировать результаты измерений, дать заключение о точности технологического процесса.
7. Оформить отчет о лабораторной работе.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Штриховые меры длины применяют для непосредственного контроля размеров или расстояний и в качестве шкал приборов и станков, а также в качестве образцовых при поверке рабочих мер длины, приборов для линейных измерений и проверки точности станков.

Рассматриваемые меры изготавливаются четырех типов, отличающихся формой сечения, габаритами, номинальной длиной шкалы и классом точности (табл. П. 1).

Т а б л. П. 1. Характеристики штриховых мер длины

Тип	Номинальная длина шкалы, мм	Класс точности
<p><i>Тип 1</i></p> 	<p>500...1400 1600...4000</p>	<p>0; 1; 2</p>
<p><i>Тип 2</i></p> 	<p>100...100</p>	<p>0; 1; 2; 3; 4</p>
<p><i>Тип 3</i></p> 	<p>250...1600</p>	<p>4</p>
<p><i>Тип 4</i></p> 	<p>1000</p>	<p>5</p>

Штриховые меры длины бывают однозначными и многозначными: в однозначных расстояние между двумя штрихами является длиной меры; многозначные обычно имеют дециметровые, сантиметровые или миллиметровые деления.

Допускаемые отклонения длины мер определяют в зависимости от интервала шкалы и класса точности меры (табл. П. 2).

Плоскопараллельные концевые меры длины — это меры, изготовленные, как правило, в виде бруска прямоугольного сечения с двумя плоскими параллельными рабочими поверхностями, обладающие свойством притираться к из-

Т а б л. П.2. Допускаемые отклонения длины штриховых мер

Номинальная длина меры, мм	Допускаемое отклонение (мкм) длины меры класса точности					
	0	1	2	3	4	5
100	0,5	1	2	6	12	25
160	0,5	1	2	6	12	25
200	0,6	1	2,5	6	13	25
250	0,6	1	2,5	6	14	30
300	0,6	1,5	2,5	6	14	30
320	0,7	1,5	2,5	7	15	30
400	0,7	1,5	3	7	16	35
500	0,8	1,5	3	8	18	35
Отклонения отдельных милли- метровых и санти- метровых интерва- лов	0,5	1	2	5	10	20

Т а б л. П. 3. Допускаемые отклонения длины плоскопараллельных концевых мер

Номинальная длина меры, мм	Допускаемое отклонение (мкм) для меры класса точности					
	1		2		3	
	от номи- нального значения (±)	от плос- копарал- лельности	от номи- нального значения (+)	от плос- копарал- лельности	от номи- нального значения	от плос- копарал- лельности
До 10	0,20	0,16	0,4	0,3	0,8	0,3
Свыше 10 до 25	0,30	0,16	0,6	0,3	1,2	0,3
Свыше 25 до 50	0,40	0,18	0,8	0,3	1,6	0,3
Свыше 50 до 75	0,50	0,18	1,0	0,35	2,0	0,35
Свыше 75 до 100	0,60	0,20	1,2	0,35	2,5	0,35
Свыше 100 до 150	0,80	0,20	1,6	0,4	3,0	0,4
Свыше 150 до 200	1,0	0,22	2,0	0,4	4,0	0,4
250	1,20	0,25	2,5	0,4	5,0	0,4

мерительным поверхностям других концевых мер или плоских вспомогательных пластин.

Рабочий размер концевой меры — длина перпендикуляра, опущенного из любой точки измерительной поверхности концевой меры на другую (противоположную) измерительную поверхность.

Точность концевых мер длины определяется главным образом допуском размера или точностью его аттестации. При выполнении различных работ могут использоваться концевые меры длины различной точности. Для концевых мер длины установлено семь классов точности, обозначаемых в порядке ее возрастания: 5, 4, 3, 2, 1, 0 и 00.

Концевые меры длины изготавливаются пяти классов точности (от 00 до 3) (табл. П. 3). Меры других двух классов (4 и 5) не изготавливаются, их допуски используются только при ремонте концевых мер длины с целью их дальнейшего применения для измерений, не требующих высокой точности.

Предел допускаемой погрешности измерения (аттестации) концевой меры длины характеризуется разрядом. Установлено пять разрядов с 1 по 5 (для первого разряда — наименьшая погрешность аттестации). При аттестации концевых мер длины на определенный разряд измеряют "срединную длину" (a) и ее принимают за действительную длину концевой меры. "Срединной длиной" концевой меры называют длину перпендикуляра, опущенного из центра одной из измерительных поверхностей на противоположную измерительную поверхность (рис. П. 1).

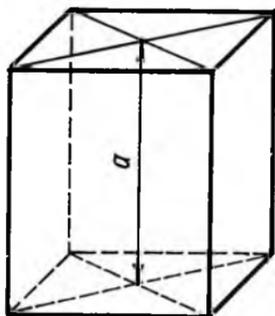


Рис. П.1. Срединная длина концевой меры

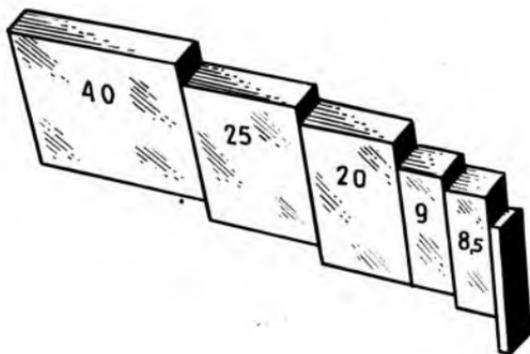


Рис. П.2. Блок плоскопараллельных концевых мер длины

В процессе эксплуатации используются как отдельные меры длины, так и блоки концевых мер. Концевые меры комплектуют в наборы, которые позволяют составлять блоки требуемых размеров из небольшого числа мер. Установлено пять градаций плоскопараллельных концевых мер длины, что позволяет составлять блоки разных размеров со ступенями в 1 мкм (табл. П. 4).

Выпускаются наборы концевых мер длины. Количество концевых мер в наборе определяется видом работ, для которых они предназначены. Наиболее широко применяют наборы: № 1 (83 меры), № 2 (38) и № 3 (112 мер). Для получения определенного размера несколько плиток притираются друг к другу. Для притирки концевых мер в блок одну меру накладывают на другую со смещением и под некоторым усилием сдвигают вдоль рабочей плоскости (рис. П. 2).

Минимальная разность размеров, мм	Номинальные размеры, мм	
	от	до
0,001	0,991	1,01
0,01	1	1,5
0,1	1	2
0,5	0,5	25
10	10	100

Концевые меры длины применяют с принадлежностями, что позволяет осуществлять контроль наружных и внутренних размеров изделий и разметочные работы. В набор принадлежностей к концевым мерам длины (рис. П. 3) входят державки 1 для крепления блоков мер с плоскопараллельными 2, радиусными 3, центровыми 4 и чертильными боковиками 5; основание 6 для установки боковиков при разметке; стяжки 7 для крепления блоков с мерами размеров $L \geq 100$ мм; зажимные сухари 8 для крепления стяжками 7 боковиков с мерами.

Меры угловые призматические предназначены для хранения и передачи размера единицы плоского угла. Угловые меры в основном применяют для проверки и градуировки различных средств измерения углов, но они могут применяться и непосредственно для измерения углов деталей.

Угловые меры представляют собой стальные призмы пяти типов, измерительные поверхности которых образуют один (однозначные меры) или не-

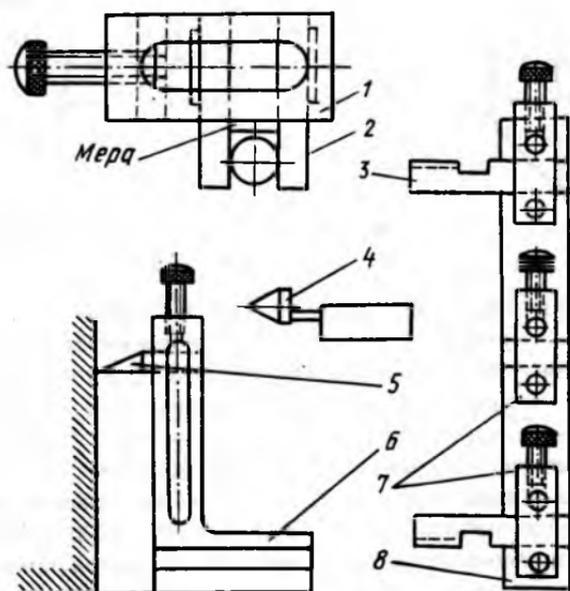


Рис. П.3. Набор принадлежностей к концевым мерам длины

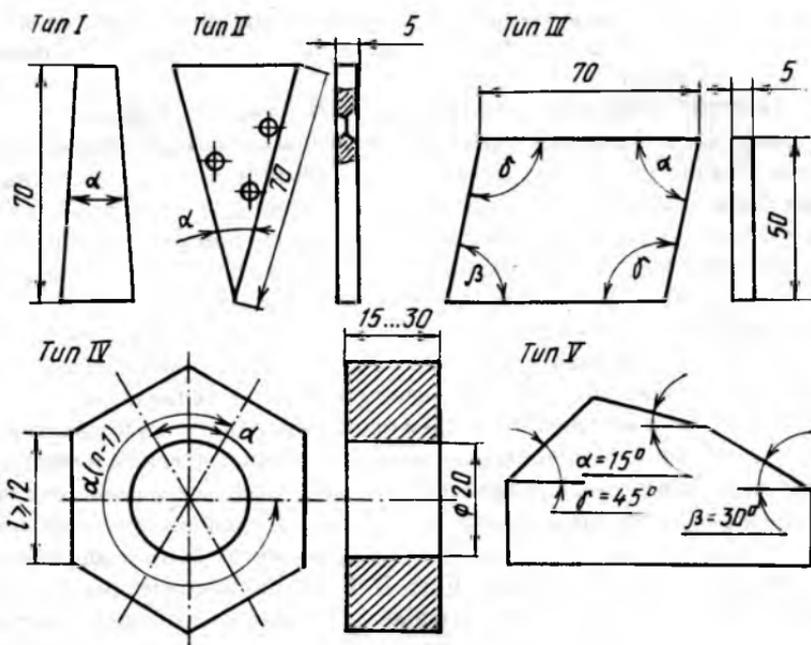


Рис. П.4. Меры угловые призматические

сколько (многозначные) рабочих углов (рис. П. 4). Рабочие углы α , β , γ и δ мер могут быть образованы: смежными измерительными поверхностями для мер типа I, II, III (угловых плиток); нормальными к измерительным поверхностям — типа IV (число граней n); рабочими гранями и основанием — типа V (табл. П. 5).

Т а б л. П. 5. Пределы допускаемых отклонений основных размеров угловых мер

Класс угловой меры	Предел допускаемого отклонения			
	рабочих углов от номинального значения	от перпендикулярности измерительных поверхностей к нижнему основанию меры, секунд	от параллельности основания к верхней поверхности (мкм) на длине, мм	от плоскостности поверхности, мкм
			70 100	
для мер типов				
	I...III IV V	I...III IV I...III	IV I...III IV	V
00	— ±2 —	— ±5 15	1,5 — 0,05	—
0	±3 ±5 —	±30 ±10 15	1,5 0,10 0,05	—
1	±10 ±10 ±10	±60 ±15 15	1,5 0,15 0,05	0,15
2	±30 ±30 —	±100 ±20 15	1,5 0,30 0,10	—

Рабочие угловые меры типов I, II, III применяют для измерения углов, наладки приборов и станков. Многогранные призмы типов IV, V применяют для поверочных работ.

По точности угловые меры подразделяются на четыре класса.

Угловые меры комплектуются в отдельные наборы. Измерительные поверхности угловых плиток способны притираться друг к другу. Порядок составления блоков из плиток такой же, как у концевых мер длины. Угловые плитки и блоки из них применяют для измерения углов методом "на просвет". Ширину просвета между рабочими поверхностями меры и изделия определяют на глаз или путем сопоставления с "образцом просвета".

Для соединения угловых мер в блоки выпускается набор принадлежностей (рис. П. 5), включающий: державку 3 для крепления двух мер; державку 4 для крепления трех мер; державку 5 для крепления меры и лекальной линейки 6. Соединение плиток в блоки осуществляется с помощью винтов 2 и клиновых штифтов 1, пропускаемых через отверстие державки и мер.

Угольники поверочные предназначены для проверки и разметки прямых углов, контроля перпендикулярности плоскостей изделий при монтаже и т.д.

Имеется шесть видов угольников, которые могут быть разделены на три конструктивных типа: плиточные (рис. П. 6, а), цилиндрические (рис. П.6, б) и Г-образные (рис. П.6, в). Последние изготовляют нескольких конструктивных модификаций с широкой или острой рабочей поверхностью большей стороны. Плиточные угольники выполняют с двумя широкими и двумя острыми рабочими поверхностями. Угольники с острыми рабочими поверхностями (ра-

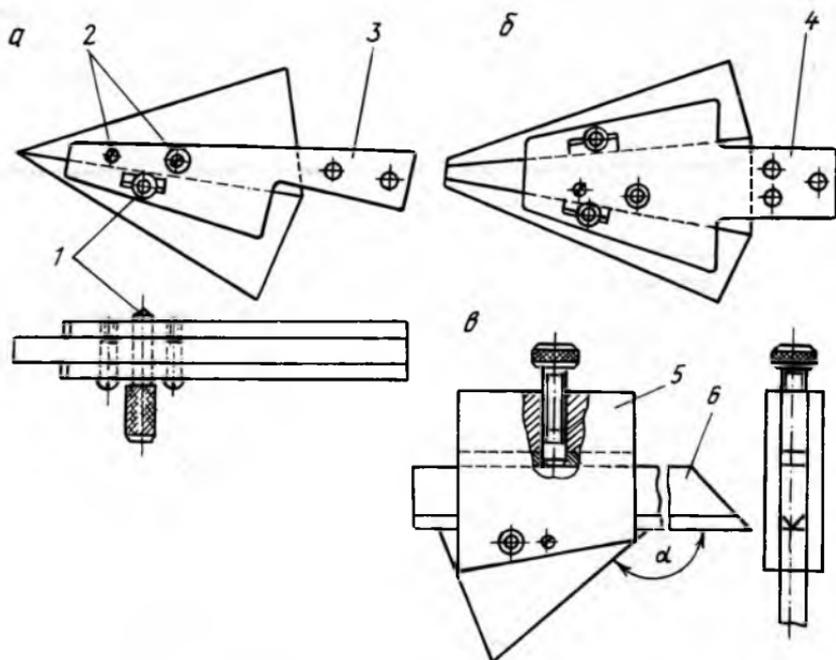


Рис. П.5. Принадлежности к угловым концевым мерам:

а – державки для крепления двух мер; б – трех; в – меры и лекальной линейки

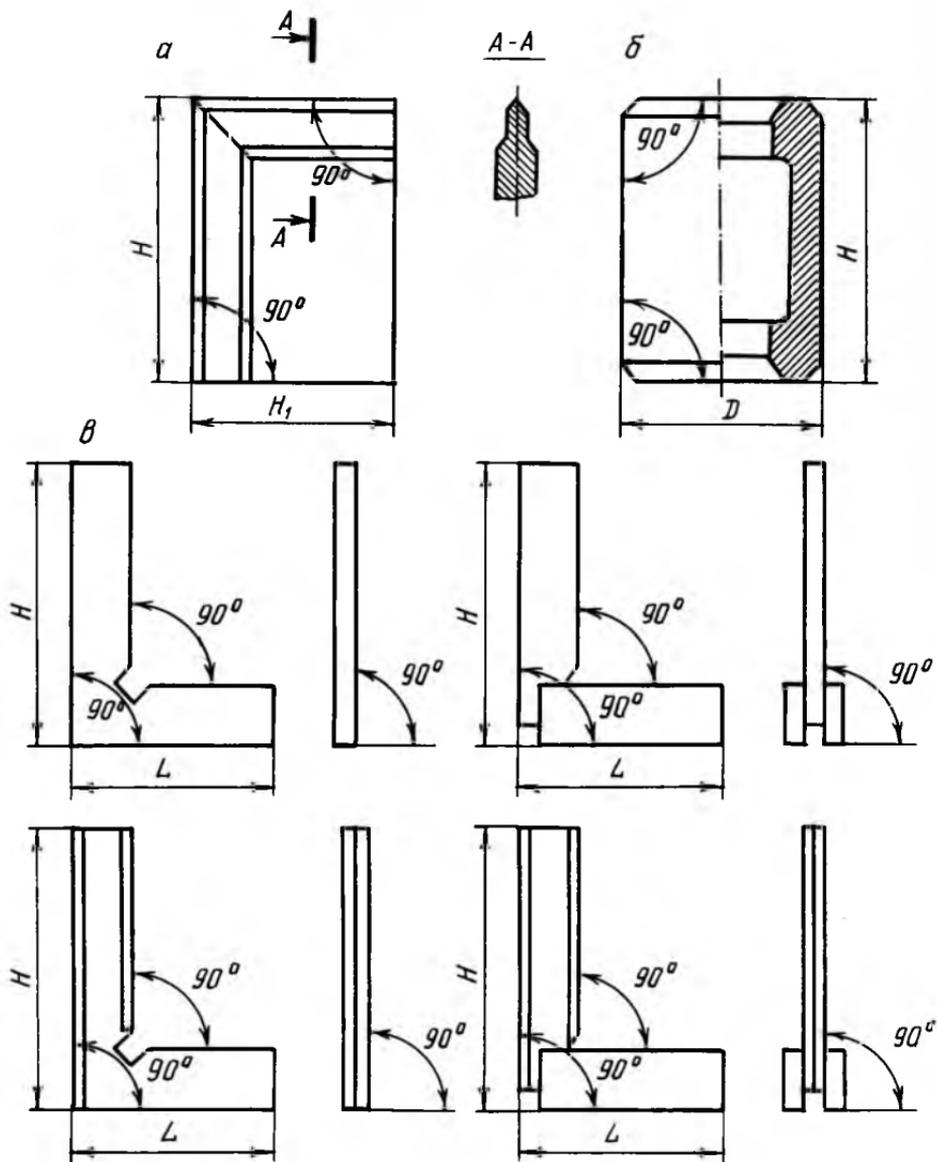


Рис. П.6. Виды угольников:
 а — плиточные; б — цилиндрические; в — Г-образные

диус закругления до 0,2 мм) называются лекальными (рис. П.7, а), они обеспечивают линейный контакт одной из сторон с изделием. Угольники с широкими рабочими поверхностями называются слесарными (рис. П.7, б), они образуют контакт большей стороны с изделием по поверхности.

Размеры сторон угольника, кроме цилиндрических, выбраны по нормальному ряду чисел (всего 18 размеров).

В соответствии с допустимыми погрешностями рабочих углов угольники изготовляют четырех классов: 0, 1, 2, 3.

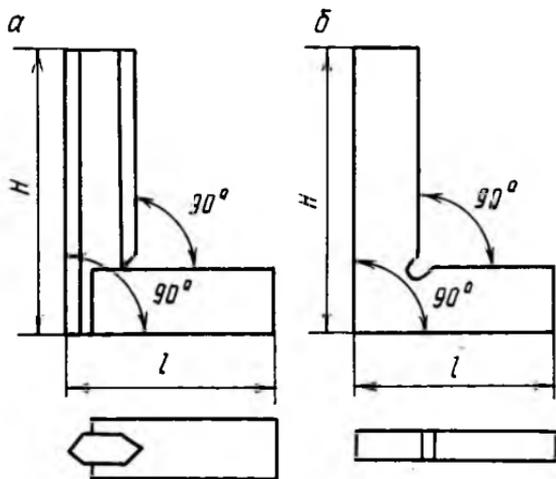


Рис. П.7. Формы сечений угольников

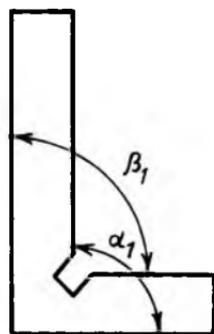


Рис. П.8. Добавочные рабочие углы угольников

Допуски наружного и внутреннего углов угольника данного размера и класса равны и симметричны относительно номинального значения угла.

Стороны всех Г-образных угольников должны быть параллельны, поскольку, применяя эти угольники, используют добавочные рабочие углы α_1 и β_1 (рис.П.8), правильность которых зависит не только от правильности рабочих углов, но и от параллельности сторон.

Применяемые углы проверяют угольниками "на просвет". Если используются большие угольники, ширину зазора между угольником и изделием можно определить щупами или концевыми мерами длины.

Синусные линейки изготовляют трех типов (рис. П. 9): без опорной плиты — тип I (рис. П. 9, а), с опорной плитой — тип II (рис. П. 9, б) и наклонные в двух взаимно перпендикулярных направлениях — тип III (рис. П. 9, в). Линейки каждого типа бывают двух классов точности — 1 и 2.

Размер L синусных линейек типов I и II — 100, 200, 300, 500 мм, а типа III — 200/100 и 300/150 мм.

В линейках типа II и III, где предусмотрены опорные плиты, один из двух роликов шарнирно укреплен в цапфах плиты. При этом предъявляется дополнительное жесткое требование к параллельности четырех плоскостей: верхней рабочей плоскости линейки; нижней опорной плоскости плиты; верхней опорной плоскости плиты и плоскости, проходящей через оси обоих роликов. Для базирования изделия при измерении в правильном положении служат передние и боковые упорные планки. Синусные линейки типа II оснащены двумя бабками с центрами для контроля изделий конической формы.

Синусная линейка (рис. П. 10) состоит из двух круглых цилиндрических роликов одинакового диаметра, укрепленных на концах столика так, чтобы их оси были параллельны. Расстояние L между осями роликов имеет жесткий допуск и точно аттестовано. Это расстояние при установке синусной линейки на требуемый угол α имитирует гипотенузу прямоугольного треугольника. Катет этого треугольника h образуется за счет блока плоскопараллельных

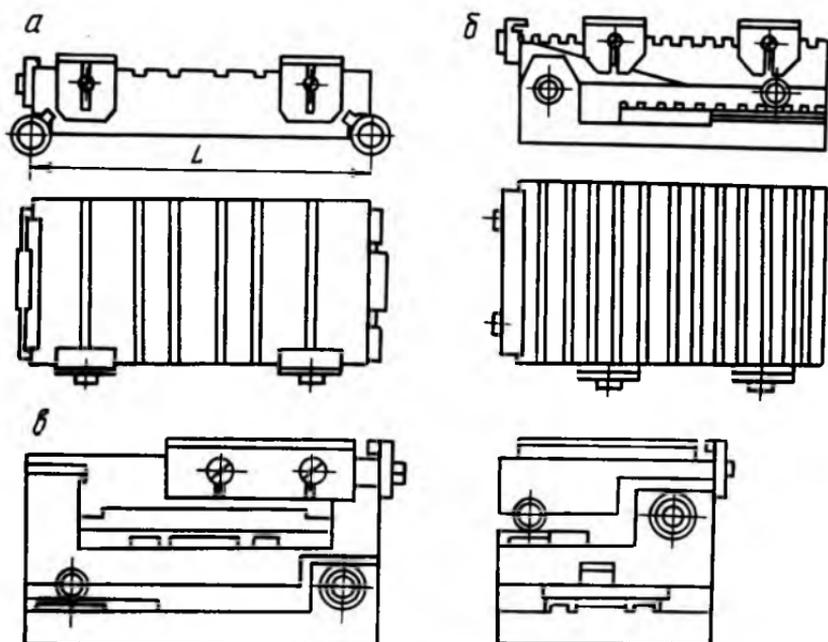


Рис. П. 9. Синусные линейки

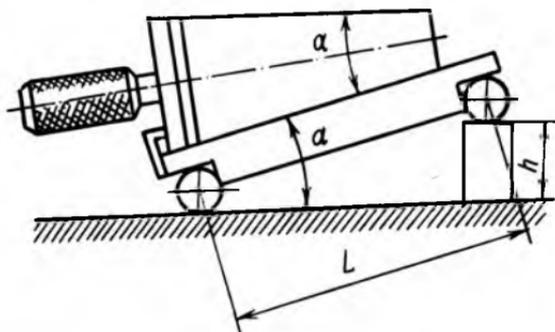


Рис. П.10. Контроль с помощью синусной линейки

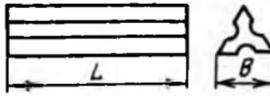
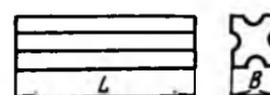
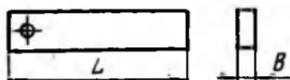
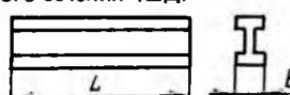
концевых мер, подкладываемых под один из роликов. Допуски размеров элементов синусных линеек обеспечивают точность синусных линеек, пригодную для широкой области прецизионных измерений.

Линейки поверочные используются для определения прямолинейности поверхностей и делятся на лекальные и линейки с широким основанием (табл. П.6).

Лекальные линейки с разным числом рабочих граней имеют закругления радиусом 0,2 мм. Проверку прямолинейности этими линейками производят путем прикладывания их рабочей части к исследуемой поверхности и установления размера просвета.

Поверочные линейки с широкими рабочими поверхностями используют в качестве базы для контроля отклонений от прямолинейности, а некоторые

Т а б л. П.6. Типы, размеры и допускаемые отклонения поверочных линейек

Тип	Размеры $L \times B \times H$, мм	Допускаемые отклонения от прямолинейности (плоскостности), мкм, линейек класса точности		
		0	1	2
Лекальные с двусторонним скосом (ЛД) 	80X20X5	0,8	1,2	2,0
	125X22X5	1,0	1,6	2,5
	200X25X6	1,2	2,0	3,0
	315X30X8	1,6	2,5	4,0
	500X30X8	2,0	3,0	5,0
Лекальные трехгранные (ЛТ) 	200X26	1,6	2,5	—
	320X30	1,6	2,5	—
Лекальные четырехгранные (ЛЧ) 	200X20	1,6	2,5	
	320X25	1,6	2,5	
	500X35	2,5	4,0	
С широкой поверхностью прямоугольного сечения (ШП) 	400X40X6	2,5	6	10
	630X50X10	4	10	16
	1000X60X12	4	10	16
С широкой рабочей поверхностью двутаврового сечения (ШД) 	630X50X14	4	10	16
	1000X60X16	4	10	16
	1600X75X18	—	16	25
С широкой рабочей поверхностью мостика (ШМ) 	400X50	2,5	6	10
	630X50	4	10	16
	1000X60	4	10	16
	1600X80	—	16	25

виды линеек — для контроля отклонений от плоскостности небольших поверхностей, как и в случае использования плит.

Призмы поверочные и разметочные изготавливаются трех типов (табл. П.7): I — с одной призматической выемкой и накладкой; II — с четырьмя призматическими выемками; III — с одной призматической выемкой (рис. П.11).

Т а б л. П.7. Размеры призм

Типоразмер призмы	<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	Диаметр устанавливаемого на призму вала
I-1	35	40	30	3...15
I-2	60	60	50	5...30
I-3	105	100	80	8...70
I-4	150	100	100	12...110
II-1	100	60	90	8...80
II-2	150	80	135	12...135
II-3	200	100	180	20...160
II-4	300	125	270	32...300
III-1	200	100	125	20...160
III-2	300	125	180	32...300

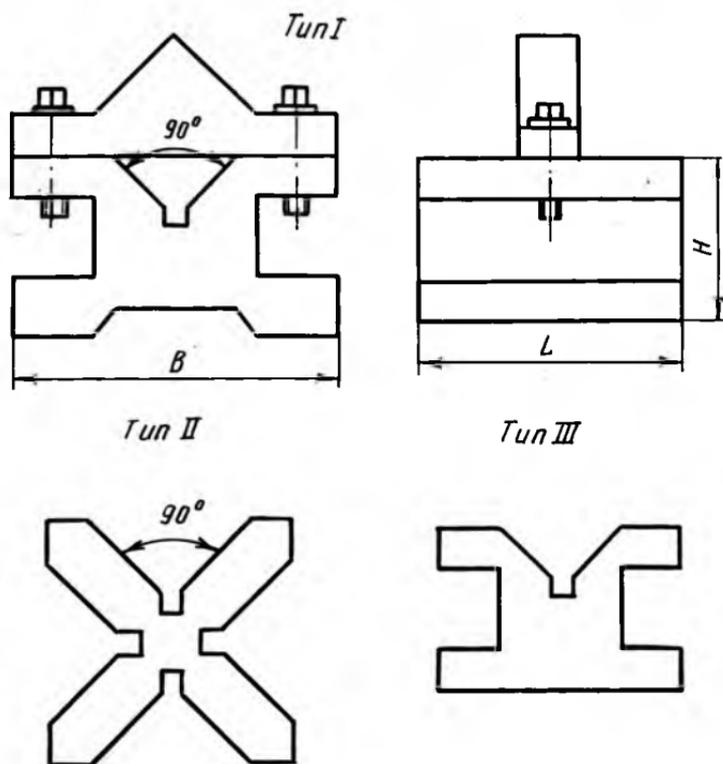


Рис. П.11. Призмы поверочные и разметочные

Призмы поставляются комплектами разных классов точности, состоящими из двух призм (табл. П. 8).

Плиты поверочные выпускаются семи типоразмеров от 250 × 250 до 4000 × 1600 мм. Точность плит обычно нормируется по числу пятен краски в квадрате размером 25 × 25 мм или по отклонению от прямолинейности в разных направлениях (табл. П. 9).

С помощью плоских поверхностей плит при контроле отклонений формы воспроизводят прилегающую поверхность, относительно которой и определяют отклонения реальной поверхности.

Стойки и штативы используются для установки в них зубчатых и рычажно-зубчатых измерительных головок и индикаторов при проведении измерений (рис. П. 12). Технические характеристики стоек и штативов приведены в табл. П. 10.

Т а б л. П.8. Допускаемые отклонения призм

Типо-размеры призм	Класс точности	Отклонение, мкм				Разность расстояний от выемок двух призм одного комплекта до основания
		от параллельности призматических выемок основанию (на длине L)	от параллельности призматических выемок относительно плоскости, перпендикулярной к основанию и проходящей через его середину	от симметричности расположения выемок относительно плоскости, перпендикулярной основанию	от перпендикулярности призматической выемки к торцам	
I-1; I-2	0	2,5	2,5	2,5	5	4
I-3; I-4		4	4	4	8	8
III-1		4	4	4	8	5
III-2		5	5	5	10	6
I-1; I-2	1	5	8	5	5	6
I-3; I-4		8	5	8	8	10
II-1		10	10	10	—	12
II-2; II-3		15	15	20	—	20
II-4		20	20	20	—	25
III-1		8	8	8	8	10
III-2		10	10	10	10	12
I-1; I-2		2	10	10	10	10
I-3; I-4	15		15	15	15	20
II-1		20	20	20	—	25
II-2; II-3		25	25	25	—	30
II-4		30	30	30	—	35
III-1		15	15	15	—	20
III-2		20	20	20	20	25

Т а б л . П.9. Размеры и допускаемые отклонения поверочных плит

Размеры плит, мм	Допускаемое отклонение от плоскости, мкм, для плиты класса					Допускаемый прогиб под со- средоточенной нагрузкой	
	01	0	1	2	3	нагрузка, Н	прогиб, мкм
250x250	4	6	10	25	—	200	1
400x400	4	6	10	25	—	200	1
630x400	6	10	16	40	—	400	2
100x630	6	10	16	40	60	1000	4
1600x1000	10	16	25	60	100	2500	10

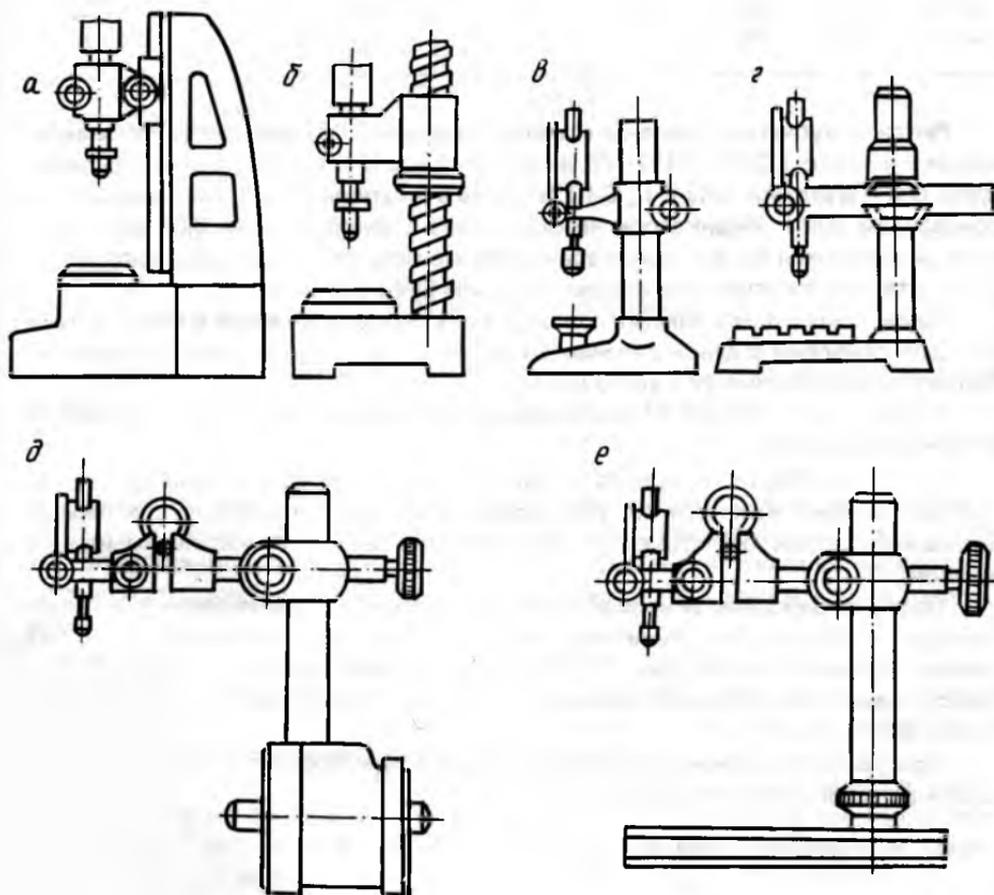


Рис. П.12. Стойки и штативы типов:

а — С-I; б — С-II; в — С-III; г — С-IV; д — Ш-1; е — Ш-II

Т а б л. П. 10. Технические характеристики стоек и штативов

Модель или тип	Максимальный подъем кронштейна, мм	Вылет изменяемой головки, мм	Диаметр кронки, мм	Диаметр зажимного отверстия, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
С-I	160	75	70	28	435x150x270	25
С-II	160	75	50	28	435x150x270	23
С-III	100	55	30	8	167x147x260	6,2
С-IV	250	160	40	8	234x156x361	8,9
Ш-IH	250	200	40	8	294x128x50	7,6
Ш-IIВ	630	500	50	8	612x150x630	25,4
Ш-III	200	160	12	8; 4	230x50x200	2,56
ШМ-IIВ	630	500	50	8	656x295x630	17,35
ШМ-III	200	160	12	8	190x52x200	13,4

Рычажно-зубчатые головки с ценой деления 0,001 мм могут устанавливаться согласно ГОСТ 10197-70 в стойках типа С-II и С-III, с ценой деления 0,003 мм — в стойки типа С-II, С-III, а также в штативы типа Ш-I и с магнитным основанием ШМ-I. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм могут быть установлены во все вышеперечисленные типы стоек, штативы типа Ш-II и Ш-III, штативы с магнитным основанием типа ШМ-I и ШМ-III.

Пружинные измерительные головки могут устанавливаться в стойках типа С-I (для приборов с ценой деления до 0,5 мкм) и стойках типа С-II (для приборов с ценой деления от 1 до 10 мкм).

Стойки типа С-III и С-IV и штативы всех типов имеют диаметр отверстия в кронштейне 8 мм.

Штангенприборы — группа средств измерений, отличительной особенностью которых является то, что координата одной или нескольких перемещающихся рамок отсчитывается на штриховой шкале с указателем или нуисом.

Принцип действия линейного нониуса состоит в совмещении соответствующих штрихов двух линейных шкал (подвижной и неподвижной) с различной длиной делений (рис. П. 13). Цена деления нониуса c (отсчет по нониусу) равна цене деления основной шкалы a , разделенной на число делений нониуса n : $c = a/n$.

При проектировании нониусов длину деления нониуса принимают кратной длине деления основной шкалы:

$$b = \gamma a - c = \frac{\gamma n - 1}{n} a,$$

где γ — модуль нониуса, характеризующий растянутость нониуса относительно шкалы.

Длина нониуса $l = nb$.

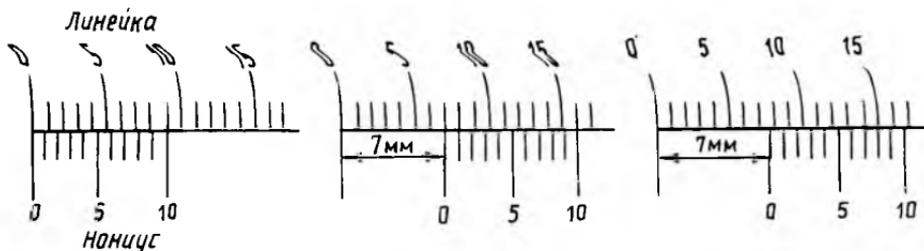


Рис. П.13. Линейные нониусы

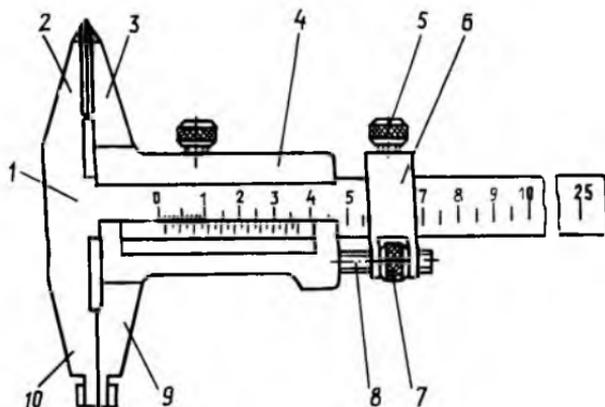


Рис. П.14. Устройство штангенциркуля

Указателем для отсчета по нониусу служит штрих шкалы, число долей миллиметра при отсчете по нониусу определяется по совпадению одного из штрихов нониуса со штрихом основной шкалы и равно номеру этого штриха нониуса, умноженному на цену деления нониуса.

Наиболее распространенными универсальными средствами измерений такого типа являются штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы, штангензубомеры и угломеры. Область применения тех или иных средств определяет форму измерительных поверхностей и их относительное расположение.

Штангенциркули применяют при станочных, слесарных, инструментальных работах и при техническом контроле для измерения наружных и внутренних размеров деталей и разметки. Конструктивно штангенциркули различают по длине, форме губок и подвижной рамки и точности.

Штангенциркуль (рис. П. 14) состоит из штанги 1 с губками 2 и 10. По штанге перемещается рамка 4 с губками 3 и 9. На основной линейке-штанге нанесены миллиметровые деления, а на подвижной рамке находится вспомогательная шкала — нониус.

Измеряемый размер определяется по расстоянию между измерительными губками, которые имеют плоские измерительные поверхности небольшой ширины. Остальные элементы конструкции имеют вспомогательный характер, с их помощью облегчается использование штангенциркуля или расширяется

область его применения. Для точной установки подвижной рамки 4 в ряде конструкций есть устройство для ее микрометрической подачи. Оно состоит из вспомогательной рамки 6 и винта 8 с гайкой микрометрической подачи 7. Подачу рамки осуществляют плавно, без больших усилий. Винт 5 служит для зажима вспомогательной рамки при установке на штангенциркуле размера для разметки.

Штангенциркули выпускаются четырех типов: ШЦ-I, ШЦТ-I (ШЦ-I — без верхних губок и с нижними губками, оснащенными твердым сплавом), ШЦ-II и ШЦ-III (ШЦ-II без верхних губок) (рис. П. 15).

Штангенглубиномеры предназначены для измерения глубины и высоты изделий, расстояний до буртиков и уступов. В отличие от штангенциркуля в конструкции штангенглубиномера вместо подвижной губки на рамке 2, имеющей нониус 1, сделана траверса 3, являющаяся базой (основанием) для измерения глубины (рис. П. 16).

Штангенрейсмасы предназначены для разметки изделий, в отдельных случаях могут использоваться для измерения высот. В конструкции штангенрейсмаса (рис. П. 17) вместо неподвижной губки штангенциркуля имеется основание 4, с помощью которого штангенрейсмас устанавливается на плите. Рамка 2 с нониусом 3 имеет державку 5 для крепления сменных устройств.

При разметке с помощью рейсмаса по шкале 1 и нониусу 3 устанавливают необходимый размер. Потом весь штангенрейсмас перемещают по плите, одновременно прижимая основанием к плите, а разметочной ножкой — к детали.

Штангензубомер — прибор для определения толщины зубьев цилиндрических зубчатых колес по постоянной хорде (рис. П. 18). Он состоит из двух взаимно перпендикулярных линейек 2 и 5. Линейка 2 имеет неподвижную губку 1, имеющую измерительную плоскость. По линейке 5 с нанесенной

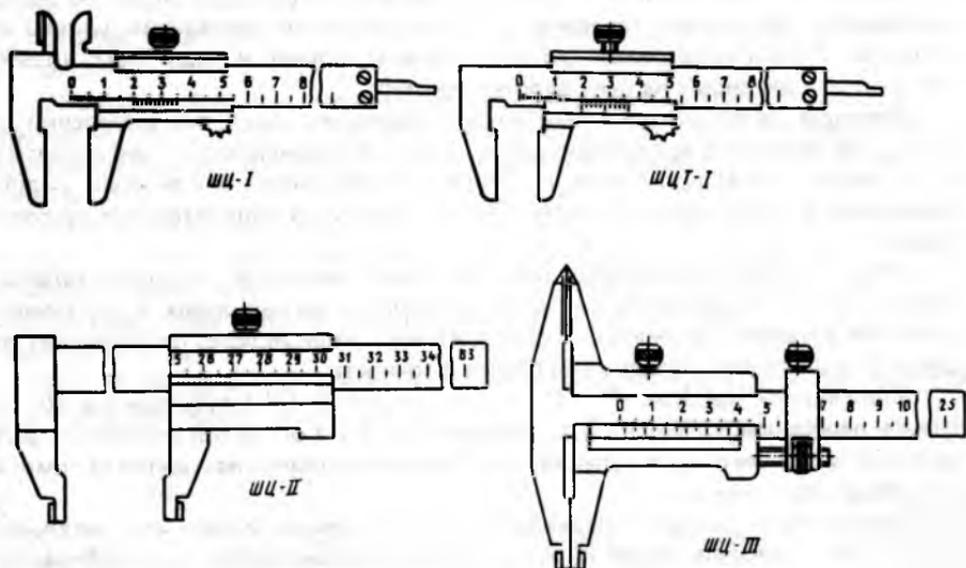


Рис. П. 15. Типы штангенциркулей

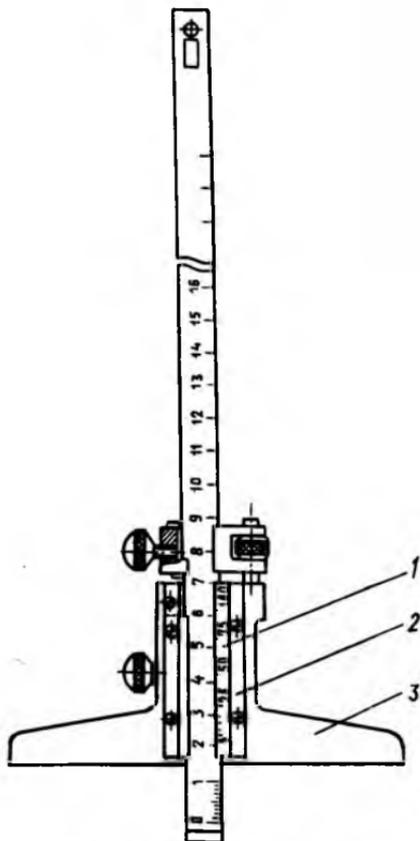


Рис. П. 16. Штангенглубиномер

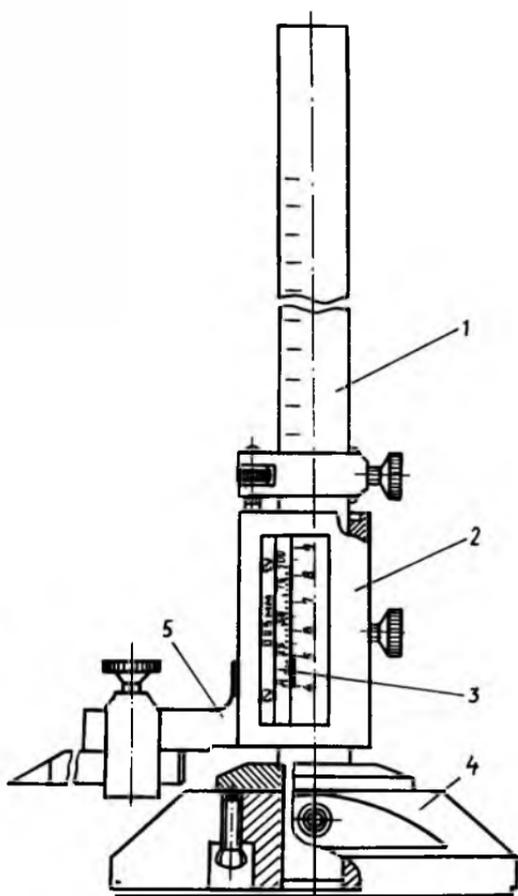


Рис. П. 17. Штангенрейсмас

шкалой перемещаются рамка 6 и подвижная губка 7, представляющая вторую измерительную плоскость. По вертикальной линейке перемещается рамка 3 с упором 4, определяющим высоту до хорды зуба. Перед измерением упор 4 по нониусу рамки 3 устанавливают на размер, соответствующий высоте h , на которой предполагается измерять длину хорды s зуба, и закрепляют в этом положении. Затем измерительные губки 1 и 7 сводятся до касания с профилем зуба колеса и производится измерение. Длину измеряемой хорды отсчитывают непосредственно по нониусу рамки 6 штангензубомера.

Невысокая точность измерений штангензубомером связана с базированием прибора по окружности выступов, которая может располагаться эксцентрично начальной окружности зубчатого колеса, а также с наличием кромочного контакта измерительных губок с поверхностью зубьев.

Угломер — накладной прибор для измерения углов, в котором отсчет угла по шкале производят при помощи нониуса.

Принцип построения угломерного нониуса такой же, как и линейного. Разница заключается лишь в том, что величины, входящие в формулы расчета нониуса, имеют не линейные, а угловые единицы.

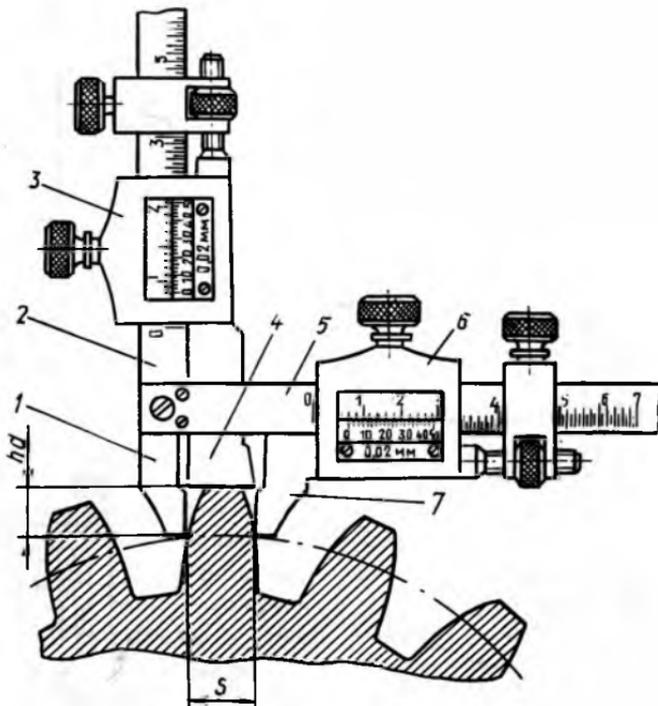


Рис. П.18. Штангензубомер

При расчете нониуса задаются значениями следующих величин: a — цена деления шкалы основания; i — цена деления при отсчете по нониусу; γ — модуль нониуса.

Определяют число делений нониуса $n = a/i$, их длину $a_1 = \gamma a - i$ и протяженность (общий угол) шкалы нониуса $l = n a_1$.

Модуль нониуса γ определяет только протяженность (общий угол) его шкалы. Если на нониусе отсутствует маркировка цены деления, ее можно определить по отношению цены деления шкалы основания к числу делений нониуса.

Угломеры с нониусом выпускаются двух типов: УН — для измерения наружных ($0...180^\circ$) и внутренних ($40...180^\circ$) углов; УМ — для измерения наружных углов.

Угломер типа УН (рис. П.19) состоит из основания 2 с угловой шкалой, имеющей диапазон показаний 90° и цену деления $a = 1^\circ$. На основании закреплена основная линейка 3 и перемещающийся сектор с нониусом 1. Стопор 4 фиксирует сектор в нужном положении. С помощью державок 8, 9 к сектору может присоединяться угольник 6 и съемная линейка 7.

Между плоскостями основной и съемной линеек измеряют углы от 0 до 50° . Когда на секторе 5 установлена съемная линейка 7, диапазон измерений составляет $50...140^\circ$.

Угломер типа УМ также имеет основание 2 с угловой шкалой (диапазон показаний 90°). С основанием жестко скреплена линейка 1. Подвиж-

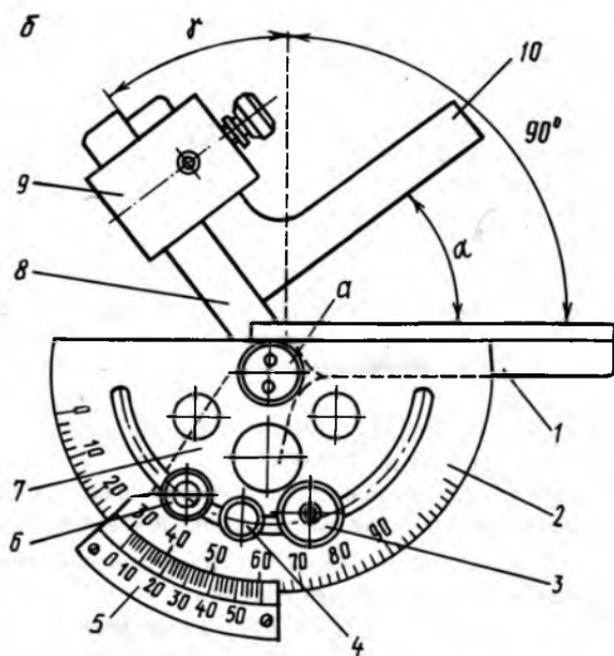
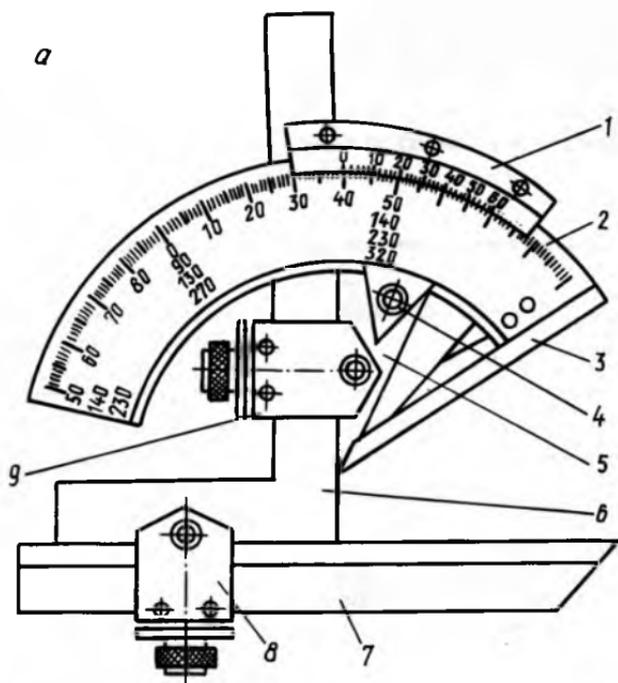


Рис. П.19. Угломеры с нониусом:
a – типа УН; *б* – типа УМ

ная линейка *8* выполнена заодно с сектором *7*, несущим нониус *5*. После поворота сектора вокруг оси *a* он фиксируется стопором *6*. На подвижной линейке *8* с помощью державки *9* может быть установлен угольник *10*. Для точной установки нониуса сектор перемещают микровинтом *4*, застопорив винт *3*. Диапазон измерений угломером типа УМ составляет 0...180°.

Т а б л. П.11. Типы штангенприборов и их основные технические характеристики

Наименование	Тип или модель	Пределы измерений, мм	Отсчет по нониусу, мм	Предел допускаемой погрешности, мм
Штангенциркуль	ШЦ-I	0...125	0,1	±0,1
	ШЦ-II	0...150	0,05; 0,1	±0,05 (при отсчете 0,05)
		0...250	0,05; 0,1	±0,1 (при отсчете 0,1)
	ШЦ-III	0...160	0,1	±0,1
		0...400; 250...630; 320...1000 500...1600; 800...2000 2000...4000	0,1	±0,2 ±0,4
Штангенглубиномер	ШГ-160	0...160	0,5	±0,05
	ШГ-250	0...250	0,5	±0,05
	ШГ-400	0...400	0,5	±0,05
	2 ШГ-500	0...500	0,1	±0,1
Штангенрейсмас	ШР-250	0...250	0,5	±0,05
	ШР-400	40...400	0,5	±0,05
	ШР-630	60...630	0,1	±0,1
	ШР-1000	100...1000	0,1	±0,1
	ШР-1600	600...1600	0,1	±0,1
ШР-2500	1500...2500	0,1	±0,1	

2. ПЕРЕЧЕНЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ СССР

ГОСТ 8.009—84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

ГОСТ 8.051—81 (СТ СЭВ 303—76). ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм

ГОСТ 8.207—76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения

ГОСТ 11.002—73 (СТ СЭВ 545—77). Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений

ГОСТ 11.006—74 (СТ СЭВ 1190—78). Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим

ГОСТ 14.317—75. ЕСТПП. Правила разработки процессов контроля

ГОСТ 882—75. Щупы. Технические условия

ГОСТ 1643—81 (СТ СЭВ 641—77, СТ СЭВ 643—77, СТ СЭВ 644—77). Ос-

новые нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски

ГОСТ 2789—73 (СТ СЭВ 638—77). Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 3749—77. Угольники поверочные 90°. Технические условия

ГОСТ 8593—81 (СТ СЭВ 512—77). Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные конусности и углы конусов

ГОСТ 8908—81 (СТ СЭВ 178—75) (СТ СЭВ 513—77). Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов

ГОСТ 9038—83 (СТ СЭВ 720—77). Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия

ГОСТ 10197—70. Стойки и штативы для измерительных головок. Технические условия

ГОСТ 16263—70. ГСИ. Метрология. Термины и определения

ГОСТ 24642—81 (СТ СЭВ 301—76). Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения

ГОСТ 24643—81 (СТ СЭВ 636—77). Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения

ГОСТ 25142—82 (СТ СЭВ 1156—78). Шероховатость поверхности. Термины и определения

ГОСТ 25346—82 (СТ СЭВ 145—75). ЕСП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений

ЛИТЕРАТУРА

1. *Допуски и посадки: Справочник: В 2 ч./* Под ред. В.Д. Мягкова. — 6-е изд. — Л.: Машиностроение, 1983. — Ч. 1. — 543 с.; Ч. 2. — 477 с.
2. *Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении: Справочник: В 2 т./* Под общ. ред. В.В. Бойцова. — М.: Изд-во стандартов, 1979—1982. — Т. 1 — 1979. — 211 с.; Т. 2. — 1982. — 292 с.
3. *Марков А.Л.* Измерение зубчатых колес. — 4-е изд. — Л.: Машиностроение, 1977. — 279 с.
4. *Марков Н.Н., Ганевский Г.М.* Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. — М.: Машиностроение, 1981. — 367 с.
5. *Марков Н.Н., Кайнер Г.Б., Сацердотов П.А.* Погрешность и выбор средств при линейных измерениях. — М.: Машиностроение, 1967. — 391 с.
6. *Рекомендации по внедрению стандартов СЭВ на допуски и посадки гладких соединений (ЕСДП СЭВ).* — М.: Изд-во стандартов, 1980. — 95 с.
7. *Справочник контролера машиностроительного завода /* Под ред. А.И. Якушева. — 3-е изд. — М.: Машиностроение, 1980. — 527 с.
8. *Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.

Предисловие	3
1. Метрологические основы измерений	5
1.1. Измерения, их классификация	5
1.2. Средства измерений. Их метрологические характеристики.	8
1.3. Погрешности измерений	13
1.4. Представление результатов измерений	18
1.5. Обработка результатов многократных измерений одной и той же физической величины	18
1.6. Выбор метода измерений	22
2. Технические измерения	27
2.1. Измерение размеров гладких цилиндрических поверхностей.	27
Лабораторная работа 1. Измерение размеров гладких наружных цилиндрических поверхностей.	30
Лабораторная работа 2. Выбор средств измерений и контроль размеров гладких внутренних цилиндрических поверхностей	34
Лабораторная работа 3. Контроль размеров гладких поверхностей предельными калибрами	36
2.2. Нормирование, методы и средства контроля отклонений формы и расположения поверхностей.	38
2.2.1. Основные понятия	38
2.2.2. Измерение отклонений формы	39
2.2.3. Измерение отклонений расположения поверхностей.	49
Лабораторная работа 4. Контроль прямолинейности плоской поверхности.	53
Лабораторная работа 5. Контроль круглости и профиля продольного сечения цилиндрической поверхности.	55
Лабораторная работа 6. Контроль параллельности плоскостей	59
Лабораторная работа 7. Контроль перпендикулярности плоскостей	61
Лабораторная работа 8. Контроль радиального и торцевого биений	63
2.3. Контроль углов	66
Лабораторная работа 9. Измерение углов детали угломером	72
Лабораторная работа 10. Контроль наружного конуса детали с помощью синусной линейки	74
Лабораторная работа 11. Контроль внутреннего конуса детали с помощью шариков	76
Лабораторная работа 12. Контроль дискового кулачка	77
2.4. Шероховатость поверхности.	78
Лабораторная работа 13. Измерение параметров шероховатости поверхности	80
2.5. Нормирование точности резьбовых поверхностей	82
Лабораторная работа 14. Измерение среднего диаметра наружной метрической резьбы.	83
Лабораторная работа 15. Контроль наружной резьбы детали с помощью микроскопа	86
2.6. Контроль цилиндрических зубчатых колес	90
2.6.1. Нормы точности зубчатых колес и передач	90
2.6.2. Измерение показателей кинематической точности зубчатых колес	93
2.6.3. Измерение показателей плавности работы зубчатых колес.	97
2.6.4. Измерение показателей полноты контакта зубьев	98
2.6.5. Измерение показателей бокового зазора.	98
Лабораторная работа 16. Контроль параметров кинематической точности зубчатых колес.	100

Лабораторная работа 17. Контроль параметров плавности работы зубчатых колес.	102
Лабораторная работа 18. Контроль параметров, характеризующих нормы бокового зазора зубчатых колес.	103
2.7. Автоматизация контроля размеров деталей.	105
Лабораторная работа 19. Автоматизированный контроль линейных размеров	106
Лабораторная работа 20. Автоматизированный контроль радиального и торцевого биений поверхностей	107
Лабораторная работа 21. Сортировка валиков на группы по диаметру	109
П р и л о ж е н и я	111
1. Технические характеристики средств измерений	111
2. Перечень государственных стандартов СССР	130
Л и т е р а т у р а	132

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Цитович Борис Васильевич, Соломахо Владимир Леонтьевич,
Ковалев Лев Дмитриевич**

**ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ
ИЗМЕРЕНИЯ**

Лабораторный практикум

Заведующий редакцией В.Г. Самарина

Редактор Ж.И. Васюк

Младший редактор А.П. Берлина

Художественный редактор И. А. Демковский

Технический редактор Л.И. Счисленок

Корректор И.В. Моховикова

Оператор И.В. Скубий

ИБ № 2397

Подписано в печать 23.11.87. АТ 16804. Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная. Офсет. печать. Гарнитура Универс. Усл. печ.л. 8,5. Усл. кр.-отт. 8,875. Уч.-изд.л. 9,54. Тираж 8500 экз. Зак. 6388. ~~Цена — 40 к.~~

Издательство "Вышэйшая школа" Государственного комитета БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220048, Минск, проспект Машерова, 11.

Типография "Победа". 222310, Молодечно, ул. Тавлая, 11.

Отпечатано с оригинала-макета, подготовленного в издательстве "Вышэйшая школа".