

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве лабораторного практикума для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Самара
Издательство Самарского университета
2018

УДК 338(075)
ББК 65.242я7
Н 833

Авторы: *Е.А. Буланова, Д.Л. Скуратов, А.И. Рязанов,
А.Н. Первышин, Е.В. Бурмистров, Ю.А. Шабалин*

Рецензенты: канд. техн. наук А. С. Бук а т ы й,
канд. техн. наук, доц. Ю. С. Г о р ш к о в

Н833 Нормирование точности и метрологическое обеспечение машиностроительного производства: лаб. практикум / [Е.А. Буланова и др.]. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 168 с.

ISBN 978-5-7883-1285-9

Изложены метрологические основы измерений. Рассмотрены вопросы нормирования точности линейных и угловых размеров деталей, а также суммарных отклонений формы и расположения поверхностей и шероховатости. Приведены основные универсальные средства измерений и их технические характеристики, а также средства измерения для контроля шероховатости.

Лабораторный практикум предназначен для подготовки бакалавров и специалистов института «Двигателей и энергетических установок» и рекомендован для обучения студентов по направлениям подготовки 240305 – «Двигатели летательных аппаратов» и 240502 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», изучающих дисциплину «Нормирование точности и метрологическое обеспечение машиностроительных производств» в 5 семестре. Практикум также рекомендован для обучения бакалавров по дисциплине «Метрология стандартизация и сертификация» институтов: «Двигателей и энергетических установок», «Авиационной техники», «Ракетно-космической техники» по направлениям подготовки 250301, 150301, 220302, 150304, 150305, 130303 в 3, 4, 5 и 7 семестрах.

Подготовлено на кафедре технологий производства двигателей Самарского университета.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ. КОНТРОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ	7
1.1 Измерение. Погрешность измерения	7
1.2 Средства измерения. Основные понятия и классификация.....	9
1.3 Метрологические показатели средств измерений	11
1.4 Методы измерений и их классификация	14
1.5 Лабораторная работа 1. Выбор средств измерений при контроле линейных размеров деталей	15
1.5.1 Выбор средств измерений	15
1.5.2 Измерительные инструменты и приборы	20
1.5.2.1 Штангенинструменты	20
1.5.2.2 Микрометрические инструменты	24
1.5.2.3 Миниметр и микрокатор	28
1.5.2.4 Рычажные скобы	33
1.5.2.5 Оптиметр	34
1.5.2.6 Индикаторный нутромер	37
1.5.3 Порядок выполнения работы	42
1.6 Лабораторная работа 2. Гладкие калибры и их измерение с помощью рычажно-механических и оптико-механических приборов.....	44
1.6.1 Типы и конструкции калибров	44
1.6.2 Расчёт предельных размеров гладких калибров	50
1.6.3 Пример расчёта предельных размеров калибра и схема измерения	54
1.6.4 Требования к оформлению отчёта	58
2 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	60
2.1 Профиль и основные параметры метрических резьб.....	60
2.2. Измерение и контроль основных параметров резьбы.....	64
2.2.1 Комплексный и дифференцированный методы контроля резьб	64
2.2.2 Конструкция большого инструментального микроскопа (БМИ)	65
2.3 Лабораторная работа 3. Измерение параметров резьбы	70
2.3.1 Настройка микроскопа	70
2.3.2 Методика измерения параметров резьбы метчиков.....	73
2.3.3 Сопоставление результатов измерений с предельно допустимыми значениями параметров резьбы и аттестация метчиков	86

3 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ.....	90
3.1 Отклонения и допуски формы цилиндрических поверхностей.....	90
3.2 Лабораторная работа 4. Измерение отклонений формы цилиндрических поверхностей	96
3.2.1 Конструкция и принцип действия кругломера КД мод.	96
3.2.2 Нахождение величины отклонения от круглости по круглограмме.....	97
3.2.3 Измерение овальности и огранки	99
3.2.4 Измерение отклонений профиля в продольном сечении ..	102
3.2.5 Порядок выполнения работы	103
4 НОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И МЕТОДЫ ЕЁ КОНТРОЛЯ	106
4.1 Общие сведения	106
4.2 Термины и определения	108
4.3 Назначение параметров шероховатости и их числовых значений .	113
4.4 Обозначение шероховатости поверхности на чертежах	114
4.5 Лабораторная работа 5. Измерение параметров шероховатости поверхности.....	117
4.5.1 Средства контроля и измерения шероховатости поверхности	117
4.5.2 Обработка профилограммы	122
4.5.3 Статистическая оценка стабильности процесса обработки по параметрам шероховатости.....	127
4.5.4 Порядок выполнения работы	130
5 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС И ПЕРЕДАЧ....	132
5.1 Лабораторная работа 6. Контроль параметров зубчатых колёс ...	144
5.1.1 Определение кинематической точности колеса	145
5.1.2 Определение степени плавности работы зубчатого колеса .	150
5.1.3 Определение нормы контакта зубьев	157
5.1.4 определение характера сопряжения зубчатого колеса.....	159
5.2 Порядок выполнения работы	165
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	167

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной промышленности, повышение ее технического уровня, рост эффективности производства и всестороннее повышение качества выпускаемой продукции неразрывно связаны с достижениями науки и техники, автоматизацией производства и сопровождаются интенсивным развитием и совершенствованием средств контроля и управления технологическими процессами. Себестоимость контроля в отдельных отраслях машиностроения, по данным работы [11], может составлять 25...30% от себестоимости изделий.

Современное машиностроительное производство должно быть высокопроизводительным и обеспечивать заданный уровень качества продукции. При серийном и массовом производстве эти условия могут быть обеспечены только на основе взаимозаменяемости деталей, сборочных единиц, изделий и их стандартизации. Изготовление взаимозаменяемых изделий, соответствие их требованиям технической документации возможно при высоком уровне метрологического обеспечения производства и осуществления соответствующего технического контроля. Из всех видов контроля наиболее информативным и объективным является контроль, основанный на использовании средств измерений. Поскольку в машиностроении основную долю измерений (от 60 до 95%) составляют линейные и угловые измерения, большинство лабораторных работ, представленных в данном лабораторном практикуме, направлены на изучение и использование студентами положений метрологии, взаимозаменяемости, стандартизации и приобретение ими практических навыков в области технических измерений линейных и угловых величин.

Лабораторный практикум состоит из пяти глав и приложений и базируется на известных работах [1, 2, 6, 9, 11, 12] и положениях ГОСТов и ГОСТ Р.

В первой главе изложены метрологические основы измерений. Рассмотрены механизмы возникновения абсолютной и относительной погрешностей в процессе выполнения однократных и многократных

измерений. Дана классификация средств измерения и их метрологические показатели. Приведены примеры измерений выполняемых различными методами: прямым, косвенным, совместным и совокупным. Также в первой главе изложены две лабораторные работы. Одна из которых посвящена выбору средств измерений при контроле линейных размеров деталей, а другая – измерению гладких калибров с помощью рычажно-механических и оптико-механических приборов.

Вторая глава лабораторного практикума посвящена нормированию точности резьбовых соединений. Рассмотрены основные параметры наиболее распространенной метрической резьбы. Изложена лабораторная работа по измерению этих параметров с помощью инструментального микроскопа на примере резьбы метчика.

Третья глава содержит общие сведения о точности формы и взаимного расположения поверхностей деталей. Подробно рассмотрены возможные отклонения и допуски формы цилиндрических поверхностей. Измерению отклонений от круглости и отклонений формы профиля в продольном сечении (конусообразности, бочкообразности и седлообразности) вала посвящена приведенная тут же лабораторная работа.

Нормирование и методы контроля шероховатости поверхности изложены в четвертой главе лабораторного практикума. Дана методика выполнения измерений параметров шероховатости и методика статистической обработки их результатов. В главе приведена лабораторная работа разработанная на основе упомянутых выше методик.

В пятой главе рассматриваются вопросы нормирования точности зубчатых колес и передач. В лабораторной работе, посвященной контролю зубчатых колес, определяются: кинематическая точность колеса, степень плавности его работы, полнота контакта зубьев и характер сопряжения.

Каждая из лабораторных работ, представленных в практикуме, подразумевает изучение студентами методов проведения измерений, приобретение практических навыков применения средств измерения, обработки результатов и их систематизации в виде отчетов.

1 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ. КОНТРОЛЬ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ

1.1 Измерение. Погрешность измерения

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

При проведении технических измерений имеют место многократные измерения (наблюдения) и однократные.

Однократное измерение – измерение, выполненное наблюдателем один раз.

Многократное измерение – измерение одной и той же физической величины, результат которого получен из нескольких, следующих друг за другом, измерений (наблюдений), т.е. измерение, состоящее из ряда однократных измерений.

Любые измерения направлены на получение результата, т.е. оценки истинного значения физической величины в принятых единицах. Вследствие несовершенства средств и методов измерений, воздействия внешних факторов и многих других причин результат каждого измерения неизбежно отягощен погрешностью. При этом точность измерения тем выше, чем ближе результат измерения оказывается к истинному значению. Количественной характеристикой качества измерения является *погрешность измерения*, определяемая как разность между измеренным $x_{изм}$ и истинным $x_{ист}$ значениями измеряемой величины:

$$\Delta x = x_{изм} - x_{ист},$$

где Δx – погрешность измерения.

Строго говоря, применение вышеприведенной формулы для вычисления погрешности измерения невозможно, поскольку истинное значение измеряемой величины неизвестно. Поэтому это выражение погрешности используется только в теоретических исследованиях, а

на практике $x_{ист}$ заменяется на его оценку – действительное значение величины x_0 , и погрешность рассчитывается по формуле

$$\Delta x = x_{изм} - x_0.$$

Поскольку действительное значение измеряемой величины только с той или иной степенью приближения заменяет истинное, то погрешность измерения, найденная относительно действительного значения, будет отличаться от погрешности измерения, которая могла бы быть найдена относительно истинного значения и является приближенной оценкой «истинной» погрешности измерения.

Погрешность, выраженная посредством данных формул, имеет размерность измеряемой величины и называется *абсолютной погрешностью*, т.е. это разность между значением величины, полученным при измерении, и ее истинным значением. *Относительная погрешность измерения* – это отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины. Относительные погрешности выражают принятыми в системе СИ относительными величинами: безразмерным числом, в процентах и др.

Понятие погрешности характеризует как бы несовершенство измерения. Позитивной характеристикой качества измерений является точность измерения. Точность и погрешность связаны обратной зависимостью – измерение тем более точно, чем меньше его погрешность. Количественно точность выражается числом, равным обратному значению относительной погрешности. Так, если погрешность измерения составляет $2 \cdot 10^{-5}$, то точность его $5 \cdot 10^4$.

Будучи важнейшей характеристикой результата измерения, определяющей степень доверия к нему, погрешность должна быть обязательно оценена.

1.2 Средства измерения. Основные понятия и классификация

Средства измерения – это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства.

Средства измерения подразделяются на эталоны, меры, измерительные приборы, установки, системы и преобразователи [8, 9, 12].

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

По уровню признания различают *международные и национальные* эталоны.

Первичный эталон – это эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы (шкалы) с наивысшей в стране точностью (по сравнению с другими эталонами той же единицы).

Государственным называется первичный эталон – эталон, официально утвержденный в качестве исходного, т.е. наиболее точного для страны.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы физической величины путем сличения с первичным эталоном той же единицы.

При большом объеме поверочных работ создаются эталоны-копии, которые имеют тот же ранг вторичных эталонов.

Рабочим называется вторичный эталон, применяемый для непосредственной передачи размера единицы физической величины образцовым средствам измерения.

Меры – средства измерений, воспроизводящие единицу измерения, либо дробное или кратное ее значение. Меры подразделяются на штриховые, концевые, меры массы, меры индуктивности и т.д.

Измерительные приборы – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступ-

ной для непосредственного восприятия наблюдателем. В зависимости от формы представления информации различают аналоговые и цифровые приборы.

Аналоговым называется измерительный прибор, показания которого являются непрерывной функцией измеряемой величины, например, стрелочный вольтметр, ртутно-стеклянный термометр, гладкий микрометр и т.д.

В цифровом приборе осуществляется преобразование аналогового сигнала измерительной информации в цифровой код и результат измерения отражается на цифровом табло: цифровые штангенциркули, цифровые вольтметры, частотомеры и т.д.

Измерительные приборы классифицируются:

1) по назначению: на универсальные, предназначенные для измерения одноименных физических величин различных изделий; специализированные, для измерения изделий определенного типа, например, зубчатых колес, либо определенных параметров изделия, например, шероховатости поверхности;

2) по конструкции: на штриховые с нониусом; микрометрические, основанные на принципе действия винтовой пары; рычажно-механические (с зубчатыми, рычажно-зубчатыми и пружинными механизмами); оптико-механические; электрические (электроконтактные, электроиндуктивные, емкостные, токовихревые, фотоэлектрические); лазерные; приборы и устройства технического зрения; бесшкальные контрольные инструменты;

3) по степени механизации: ручного действия; механизированные; полуавтоматы и автоматы.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, и расположенная в одном месте.

К измерительным установкам можно отнести автоматизированные профилографы-профилометры, координатно-измерительные машины и т.д.

Измерительная система – совокупность средств измерений 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 системах управления, контроля, диагностики и т.п.

Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для преобразования сигналов измерительной информации в форму, целесообразную для передачи, обработки или хранения. Измерительная информация на выходе измерительного преобразователя, как правило, недоступна для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные преобразователи очень разнообразны. К ним относятся термодпары, измерительные трансформаторы тока и напряжения, измерительные усилители и т.д.

Меры, измерительные приборы и измерительные преобразователи бывают *образцовые и рабочие*. *Образцовые* – предназначены для передачи единиц измерений, а также дробных или кратных их значений рабочим средствам измерения и для поверки последних. *Рабочие* – используются для проведения измерений, не связанных с передачей единиц измерения.

Все приборы содержат чувствительный элемент, находящийся под воздействием измеряемой величины, измерительный механизм и отсчетное устройство.

1.3 Метрологические показатели средств измерений

Метрологический показатель средства измерений – это характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и его погрешность.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся метрологические показатели средств измерений (рис. 1).

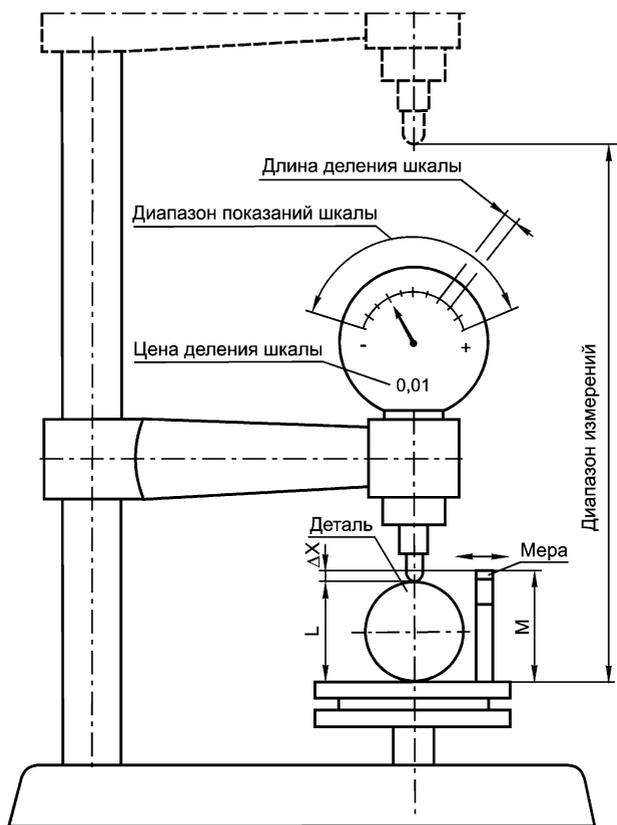


Рис. 1. Схема, поясняющая основные показатели средств измерений и относительный метод измерения

Длина деления шкалы – расстояние между осями (центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы.

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

Диапазон показаний шкалы – область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, которые могут быть получены данным измерительным средством с нормированной для него погрешностью.

Чувствительность – отношение изменения показаний прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины.

Стабильность средства измерения – качество средства измерения, отражающее неизменность во времени его метрологических свойств.

Измерительное усилие прибора – сила, создаваемая прибором при контакте с изделием и действующая по линии измерения.

Предел допустимой погрешности средства измерения – наибольшее значение погрешности средства измерения, устанавливаемое нормативным документом для средств измерений данного типа, при котором оно признается годным к применению.

Погрешности средств измерений возникают в результате воздействия большого числа факторов, обусловленных их изготовлением, хранением, эксплуатацией и условиями проведения измерений.

На погрешность средств измерений большое влияние оказывают условия их применения. Величина, которую не измеряют данным средством измерения, но которая оказывает влияние на результаты измерений этим средством, называется влияющей физической величиной, например, температура, давление, влажность, запыленность окружающей среды, механические и акустические вибрации и т.п. Нормальные условия для линейных и угловых измерений – температура 20 °С, атмосферное давление 760 мм рт. ст., относительная влажность 58 % и др.

Основной погрешностью средства измерения называют погрешность, возникающую при использовании средства измерения в нормальных условиях, когда влияющие физические величины находятся в пределах нормальной области значений. Если значение влияющей величины выходит за пределы нормальной области значений, появляется дополнительная погрешность.

Точность средства измерения – характеризует близость показаний средства измерения к действительному значению измеряемой величины.

1.4 Методы измерений и их классификация

Метод измерения – это совокупность правил и приемов использования различных физических принципов и средств, позволяющих решить измерительную задачу.

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

При *прямом измерении* искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Примерами прямых измерений являются измерения длины с помощью линейных мер или температуры термометром. Прямые измерения составляют основу более сложных – косвенных.

При *косвенном измерении* искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, например, тригонометрические методы измерения углов, при котором острый угол прямоугольного треугольника определяют по измеренным длинам катетов и гипотенузы.

Совместные измерения – одновременные измерения двух или нескольких разнородных величин для установления зависимости между ними (ряд одновременных прямых измерений электрического сопротивления проводника и его температуры для установления зависимости сопротивления от температуры).

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомое значение величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин (нахождение значений массы отдельных гирь набора по известному значению массы одной из гирь: сравнивая массы различных сочетаний гирь, получают систему уравнений, из решения которой находят массу одной из гирь, входящих в набор).

Измерения могут быть *абсолютными и относительными*. *Абсолютное измерение* основано на прямых измерениях одной или нескольких основных величин, то есть по шкале прибора определяется

полное значение измеряемой величины. При *относительном измерении* измеряемая деталь сравнивается с размером какой-либо меры или образца, а по шкале прибора измеряется отклонение размеров измеряемых деталей от образца.

Значение физической величины может быть найдено посредством однократного его измерения, либо путем нескольких, следующих друг за другом измерений с последующей статистической обработкой их результатов. В первом случае, как уже отмечалось, измерения называют однократными или простыми, во втором – измерениями с многократными наблюдениями или статистическими.

Измерения могут осуществлять *контактным способом*, при котором измерительные поверхности прибора взаимодействуют с проверяемым изделием, и *бесконтактным способом*, при котором взаимодействия нет.

Кроме того, измерения могут быть *поэлементными*, когда измеряется каждый параметр изделия в отдельности, и *комплексными*. Комплексный метод характеризуется суммарным показателем качества.

1.5 Лабораторная работа 1. Выбор средств измерений при контроле линейных размеров деталей

Цель работы: ознакомление с устройством, принципом работы и метрологическими характеристиками средств измерений линейных размеров деталей. Выбор средств измерений и ознакомление с методами измерений.

1.5.1 Выбор средств измерений

Выбор средства измерений определяется измеряемой величиной, принятым методом измерения и требуемой точностью результата измерения [8].

Одну и ту же метрологическую задачу можно решить с помощью различных измерительных средств, которые имеют не только разную стоимость, но и различные точность и другие метрологические пока-

затели, а следовательно, дают неодинаковые результаты измерения. Измерения с применением средств измерений недостаточной точности малоценны, даже вредны, так как могут быть причиной неправильных выводов. Применение излишне точных средств измерений экономически невыгодно. При выборе средств и метода измерений также учитывают диапазон измерений измеряемой величины, условия измерений, эксплуатационные качества средств измерений, их стоимость. При этом необходимо обеспечить выполнение следующего условия:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{мет} + \Delta_{си} + \Delta_o + \Delta_{усл} \leq \delta ,$$

где Δ_{Σ} – суммарная погрешность измерения; $\Delta_{мет}$ – предельная погрешность метода измерения; $\Delta_{си}$ – предельная погрешность средства измерения; Δ_o – погрешность оператора; $\Delta_{усл}$ – дополнительная погрешность условий измерения; δ – допускаемая погрешность измерения.

Величина предельной погрешности средства измерения $\Delta_{си}$ будет определяться выбранным средством измерения, а допускаемая погрешность результатов измерения δ зависит от допуска измеряемого параметра. Предельные погрешности различных средств измерений приведены в 1.5.2 данного практикума.

Допускаемые погрешности измерений в зависимости от допусков IT для диапазона 1...500 мм (по ГОСТ 8.051-81) приведены в табл. 1. Указанные погрешности δ являются наибольшими допустимыми погрешностями измерений, включающими в себя все составляющие, зависящие от измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т.д. Допускаемая погрешность измерения включает случайные и неучтенные систематические погрешности измерения. Предельная погрешность средства измерения должна быть меньше допускаемой погрешности результатов измерений, т.е. $\Delta_{си} < \delta$, однако экономически нецелесообразно выбирать $\Delta_{си}$ менее 0,1 табличного допуска IT . Следовательно, точность средства измерения должна быть на порядок выше точности контролируемого параметра.

Т а б л и ц а 1. Допускаемые погрешности измерений, мкм

Номинальные размеры, мм	Для калибретов																							
	6		7		8		9		10		11		12		13		14		15					
	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ	IT	δ				
До 3	6	1,8	10	3	14	3	25	6	40	8	60	12	100	20	140	30	250	50	400	80				
Св. 3 до 6	8	2	12	3	18	4	30	8	48	10	75	16	120	30	180	40	300	60	480	100				
Св. 6 до 10	9	2	15	4	22	5	36	9	58	12	90	18	150	30	220	50	360	80	580	120				
Св. 10 до 18	11	3	18	5	27	7	43	10	70	14	110	30	180	40	270	50	430	90	700	140				
Св. 18 до 30	13	4	21	6	33	8	52	12	84	18	130	30	210	50	330	70	520	120	840	180				
Св. 30 до 50	16	5	25	7	39	10	62	16	100	20	160	40	250	50	390	80	620	140	1000	200				
Св. 50 до 80	19	5	30	9	46	12	74	18	120	30	190	40	300	60	460	100	740	160	1200	240				
Св. 80 до 120	22	6	35	10	54	12	87	20	140	30	220	50	350	70	540	120	870	180	1400	280				
Св. 120 до 180	25	7	40	12	63	16	100	30	160	40	250	50	400	80	630	140	1000	200	1600	320				
Св. 180 до 250	29	8	46	12	72	18	115	30	185	40	290	60	460	100	720	160	1150	240	1850	380				
Св. 250 до 315	32	10	52	14	81	20	130	30	210	50	320	70	520	120	810	180	1300	260	2100	440				
Св. 315 до 400	36	10	57	16	89	24	140	40	230	50	360	80	570	120	890	180	1400	280	2300	460				
Св. 400 до 500	40	12	63	18	97	26	155	40	250	50	400	80	630	140	970	200	1550	320	2500	500				

В качестве примера в табл. 2 представлены возможные средства измерений валов диаметром 100 мм, изготовленных в различных квалитетах точности. При выборе средств измерений исходили из того, чтобы их предельные погрешности $\Delta_{си}$ не превышали допускаемые погрешности измерений δ по ГОСТ 8.051-81, одновременно стремились к тому, чтобы допускаемые погрешности средств измерений были не меньше экономически допускаемых погрешностей средств измерений $\Delta_{эси} = 0,1IT$, т.е. $\Delta_{эси} < \Delta_{си} < \delta$.

Пример 1. Выбрать средство измерения для контроля валов $\varnothing 100 \text{ h}7 \dots \text{h}12$.

Измерение валов $\varnothing 100$ мм, изготовленных с точностью по 7...12 квалитетам, необходимо производить микрометром, предельная погрешность которого составляет 8...10 мкм ($\delta \geq 10$ мкм, см. табл. 2). При этом условие $\Delta_{эси} < \Delta_{си}$ выполняется для квалитетов 7...9 и не выполняется для квалитетов 10...12.

Т а б л и ц а 2. **Выбор средства измерения**

Квалитет	Допуск размера IT , мкм	Допускаемая погрешность измерения δ , мкм	Экономически допускаемая погрешность средства измерения $\Delta_{эси}$, мкм	Рекомендуемое средство измерения	
				наименование	предельные погрешности, мкм
4	10	3,0	1,0		
5	15	5	1,5	Оптиметр	0,5...1
6	22	6	2,2		
7	35	10	3,5		
8	54	12	5,4	Микрометр	8...10
9	87	20	8,7		
10	140	30	14,0		
11	220	50	22,0		
12	350	70	35,0		
13	540	120	54,0	Штангенциркуль	100
14	870	180	87,0		

Однако в этом случае (для квалитетов 10...12) взамен микрометра использовать штангенциркуль нельзя, так как погрешность последнего превышает допусковые погрешности измерений (см. табл. 2).

Пример 2. Выбрать средство измерения для контроля вала $\varnothing 100h6$.

Для диаметра 100 мм и квалитета 6 по ГОСТ 8.051-81 (табл. 2) имеем: $IT = 22$ мкм, допусковая погрешность измерения $\delta = 6$ мкм.

Предельные погрешности предполагаемых средств измерений:

- оптиметра $\Delta_{cu} = 0,5...1$ мкм,
- микрометра $\Delta_{cu} = 8...10$ мкм.

Измерение вала $\varnothing 100h6$ микрометром не допускается, т.к. для него предельная погрешность $\Delta_{cu} = 8...10$ мкм больше допусковой погрешности измерения $\delta = 6$ мкм. Для оптиметра предельная погрешность $\Delta_{cu} = 0,5...1$ мкм меньше погрешности измерения $\delta = 6$ мкм. Экономически целесообразная допусковая погрешность измерения вала $\varnothing 100h6$ составляет $0,1IT = 2,2$ мкм, что близко к предельной погрешности оптиметра. На основании сказанного для измерения вала $\varnothing 100h6$ ($-0,022$) выбираем оптиметр.

Пример 3. Выбрать средство измерения для контроля вала $\varnothing 100h13$.

Для диаметра 100 мм и квалитета 13 по ГОСТ 8.051-81 (табл. 2) имеем: $IT = 540$ мкм, допусковая погрешность измерения $\delta = 120$ мкм и экономически целесообразная допусковая погрешность средства измерения $\Delta_{эци} = 0,1IT = 54$ мкм.

Предельная погрешность средства измерения Δ_{cu} должна быть меньше допусковой погрешности измерения δ и больше экономически целесообразной допусковой погрешности средства измерения $\Delta_{эци}$, т.е. $\Delta_{эци} < \Delta_{cu} < \delta$. Для штангенциркуля $\Delta_{cu} = 100$ мкм, что меньше $\delta = 120$ мкм и больше $\Delta_{эци} = 54$ мкм, поэтому измерение вала $\varnothing 100h13$ можно выполнить штангенциркулем.

1.5.2 Измерительные инструменты и приборы

1.5.2.1 Штангенинструменты

Штангенинструменты представляют собой показывающие инструменты прямого действия, с помощью которых размер изделия определяется по положению измерительной рамки, перемещающейся вдоль штанги со штриховой шкалой [2]. Штангенинструменты, снабженные нониусной шкалой (рис. 2 и 3), просты по конструкции и наиболее распространены на производстве. Штангенциркули (ГОСТ 166-89) предназначены для измерения наружных и внутренних размеров деталей и выпускаются четырех типов: ШЦ-I, ШТЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III. На рис. 2 показана конструкция наиболее универсального штангенциркуля типа ШЦ-I. Он состоит из штанги 1, измерительных губок 2 (верхних и нижних), рамки 3, зажима рамки 4, нониуса 5 и измерительной линейки 6.

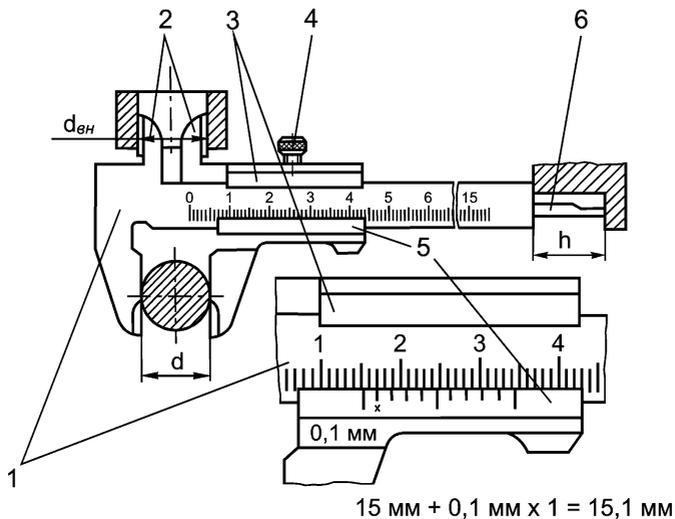


Рис. 2. Штангенциркуль ШЦ-I

Штангенрейсмасы (ГОСТ 164-89, рис. 3) используются для измерения высот и разметки деталей, установленных на плите.

Штанга 7 установлена в массивном основании 8, нижняя плоскость которого является началом шкалы. Рамка 6 с нониусом 5 имеет кронштейн 1, на котором хомутом 3 крепятся измерительная 2 и разметочная 4 ножки.

При измерениях штанген-инструментами рамка перемещается по штанге до тех пор, пока измерительные поверхности плотно и без перекоса прилягут к тем поверхностям детали, которые ограничивают определяемый размер ($d_{\text{вн}}$, d или h , см. рис. 2 и 3). Перекос рамки относительно штанги недопустим, так как это приведет к увеличению суммарной погрешности измерения.

На штанге инструментов нанесена основная шкала с ценой деления $a = 1$ мм, а на рамке установлена или нанесена дополнительная штриховая шкала – нониус с пределом измерений, равным цене деления основной шкалы a . По положению нулевого штриха нониуса на основной шкале определяют целое число миллиметров в размере. Дробные доли миллиметра находят с помощью нониуса. Нониусы имеют различные цену деления шкалы C (отсчет по нониусу) и модуль γ , который показывает, через какое число делений основной шкалы будут располагаться штрихи нониуса, смещенные на значение отсчета. Линейные нониусы бывают нескольких типов, некоторые из которых приведены на рис. 4. Число делений шкалы нониуса $n = a/C$, длина деления шкалы нониуса $b = \gamma a - C$, полная длина шкалы нониуса $l = nb = (\gamma n - 1)a$.

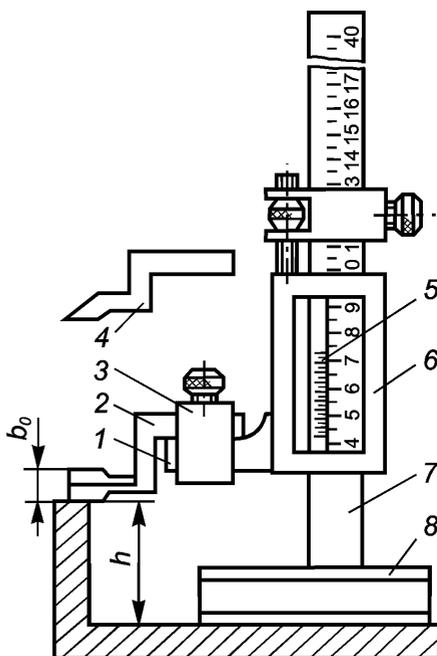


Рис. 3. Штангенрейсмас

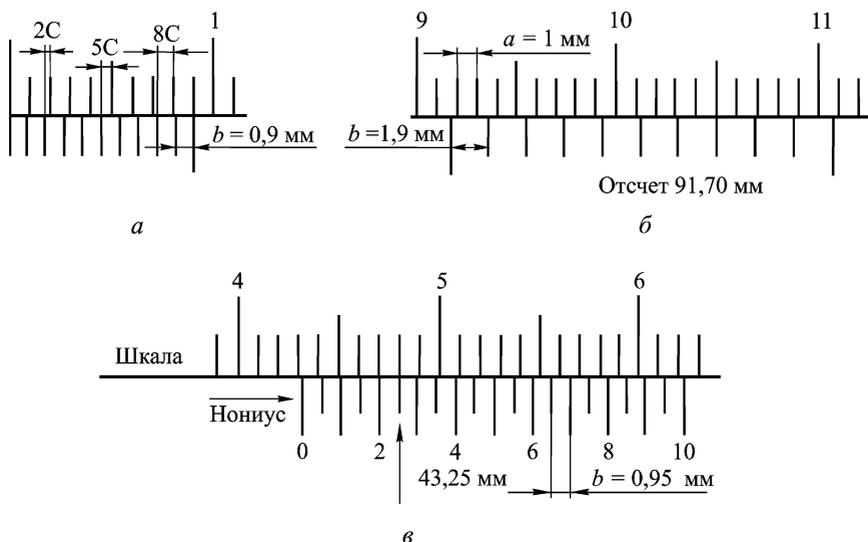


Рис. 4. Линейные нониусы:

a – губки штангенциркуля плотно сдвинуты, значение отсчета по нониусу равно нулю; *б* – значение отсчета равно 91,7 мм; *в* – значение отсчета равно 43,25 мм

Если нулевой штрих нониуса совпадает со штрихом основной шкалы, например при плотно сдвинутых губках штангенциркуля (рис. 4а), то первый штрих нониуса смещен от штриха основной шкалы на значение C отсчета по нониусу, второй штрих – $2C$, третий штрих – $3C$ и т.д. При перемещении нулевого штриха нониуса между делениями основной шкалы штрихи нониуса будут поочередно совпадать со штрихами основной шкалы. Когда дробная доля размера составит $\Delta l = C$, со штрихом шкалы совпадает первый штрих нониуса, при $\Delta l = 2C$ – второй штрих, при $\Delta l = 3C$ – третий штрих и т.д. Таким образом, указателем для нониуса служит штрих основной шкалы, совпадающий со штрихом нониуса. Число десятых долей миллиметра при отсчете по нониусу равно номеру этого штриха нониуса, умноженному на отсчет по нониусу C . На рис. 2 и рис. 4б, в; значения соответственно равны 15,1; 91,7; 43,25 мм.

Пределы измерений и цена деления рассмотренных штанген-инструментов приведены в табл. 3. Их основная допуская погрешность $\Delta_{cu} = C$, если измеряемый размер $l \leq 1000$ мм, и $\Delta_{cu} = 0,2$ мм при измерении больших размеров.

Т а б л и ц а 3. Допускаемая погрешность штангенинструментов

Тип инструмента	Пределы измерений	Отсчеты по нониусу C	Допускаемая погрешность измерения Δ_{cu}
	мм		
ШЦ-I, ШЦТ-I ШЦ-II, ШЦ-III ШЦ-III	0...125	0,1	$\Delta_{cu} = C$ при $l \leq 1000$ мм; $\Delta_{cu} = 0,2$ мм при $l > 1000$ мм
	0...160, 0...200, 0...250 0...400, 250...630, 320...1000, 500...1600, 800...2000, 1800...3000, 2000...4000	0,005 и 0,1 0,1	
Штангенрей- смасы	0...250, 40...400, 60...630 60...630, 100...1000, 600...1600, 1500...2500	0,05 0,5	

Кроме штангенинструментов с отсчетом показаний по нониусу существуют штангенинструменты с автоматическим отсчетом показаний, повышающие качество и производительность измерений. На рис. 5 в качестве примера показан штангенциркуль с электронным цифровым отсчетом.

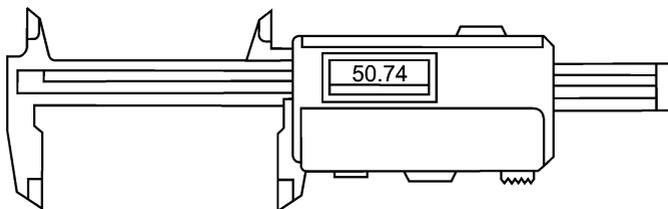


Рис. 5. Штангенциркуль с электронным цифровым отсчётом

1.5.2.2 Микрометрические инструменты

К микрометрическим инструментам относятся: *микрометры* (ГОСТ 6507-90 и ГОСТ 4381-87), *микрометрические глубиномеры* (ГОСТ 7470-92) и *нутромеры* (ГОСТ 10-88). Все эти инструменты основаны на применении микрометрических винтовых пар, а их конструктивное исполнение разнообразно [2, 8, 9].

Из всех микрометрических инструментов в производстве наиболее широко используются гладкие микрометры МК (рис. 6) с диапазонами измерений: 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 мм и т.д., предназначенные для измерения наружных размеров изделий, и микрометрические нутромеры: с диапазонами измерений: 50-75, 75-150, 75-600 мм и т.д., для измерения внутренних размеров деталей. Цена деления этих инструментов составляет 0,01 мм.

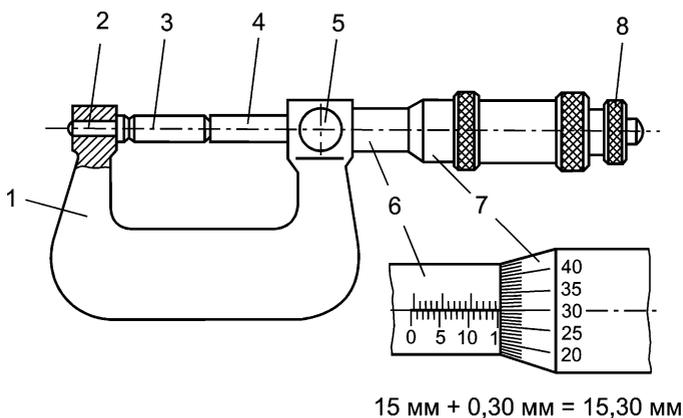


Рис. 6. Микрометр гладкий МК

На рис. 6 показана типовая конструкция гладкого микрометра. К его основным деталям и узлам относятся скоба 1, пятка 2, установочная мера 3, микровинт 4, стопор винта 5, стержень 6, барабан 7 и трещотка 8 микрометрической головки, преобразующей вращательное движение барабана в поступательное движение микровинта.

На стебле 6 вдоль продольного штриха нанесена основная шкала с ценой деления $a = 0,5$ мм и пределом измерений 25 мм. Для удобства отсчета четные штрихи шкалы, имеющие целое значение размера, отложены снизу продольного штриха. На коническом срезе барабана 7 нанесено 50 делений круговой шкалы с ценой деления, равной $C = 0,01$ мм. За один оборот барабан 7 и микровинт 4 перемещаются на одно деление основной шкалы. Торец барабана является указателем для основной шкалы, а продольный штрих на стебле – указателем для круговой шкалы.

При измерении изделие помещают без перекоса между пяткой и микровинтом и, вращая трещотку до тех пор, пока она не начнет проворачиваться, плотно прижимают измерительные поверхности микрометра к поверхности изделия. Ближайший к торцу барабана штрих основной шкалы показывает число целых миллиметров в размере. К отсчету по основной шкале прибавляют отсчет по круговой шкале, равный произведению цены деления C на номер деления, который находится напротив продольного штриха. Отсчет на рис. 6: $l = 15 + 0,01 \cdot 30 = 15,30$ мм.

Микрометры для размеров более 300 мм оснащены сменными или передвижными пятками, обеспечивающими диапазон измерений 100 мм. Перед измерением микрометры устанавливают в исходное (нулевое) положение, при котором пятка и микровинт прижаты, соответственно, к поверхностям установочных мер 3 (рис. 6) или друг к другу под действием силы, ограничиваемой трещоткой. При правильной установке нулевой штрих круговой шкалы барабана должен совпадать с продольным штрихом на стебле, а торец барабана с исходным (нулевым) штрихом основной шкалы.

Допускаемая погрешность микрометров различных классов точности для различных диапазонов измерений представлена в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Допускаемая погрешность микрометров

Средство измерения	Класс точности микрометра	Диапазон измерений, мм	Допускаемая погрешность $\Delta_{си}$, мкм
Гладкий микрометр	0	0...25	± 2
	1	0...100 100...200	± 4 ± 5
Микрометрический нутромер	-	50-75	± 4
		75-150	± 5
		75-600	± 10

Нутромеры (рис. 7) состоят из микрометрической головки 2, нако-
нечника 1 и сменного удлинителя 3.

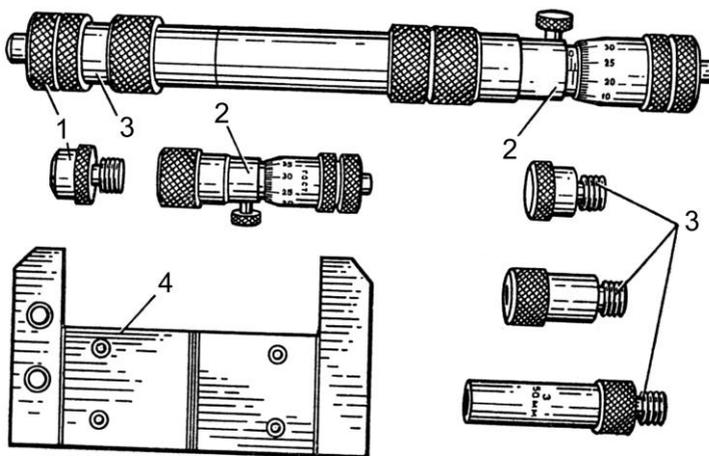


Рис. 7. Микрометрический нутромер

Настройка нутромера на измерение производится следующим об-
разом.

От проверяемого размера вычитают нижний предел микрометрической головки с наконечником. Затем выбирают удлинители по размерам, обеспечивающим их наименьшее количество (от большего к меньшему). Сумма нижнего предела измерения микрометрической головки с наконечником и удлинителей должна быть меньше требуемого размера, но не более чем на разность между пределами измерения микрометрической головки. После чего осуществляют настройку микрометрической головки на начальное значение шкалы (рис. 8) с помощью установочной меры 4 (рис. 7).

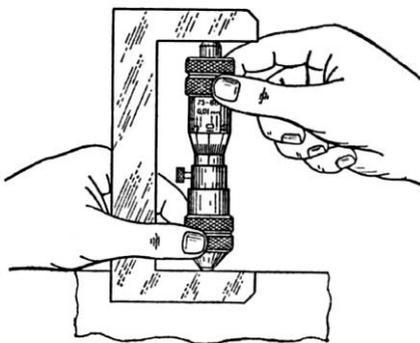


Рис. 8. Настройка микрометрического нутромера на начальное значение шкалы

При измерении цилиндрического отверстия линия измерения должна быть наибольшим размером в плоскости, перпендикулярной оси отверстия, и наименьшим размером в плоскости, проходящей через ось. Примеры чтения показаний с микрометрического нутромера приведены на рис. 9.

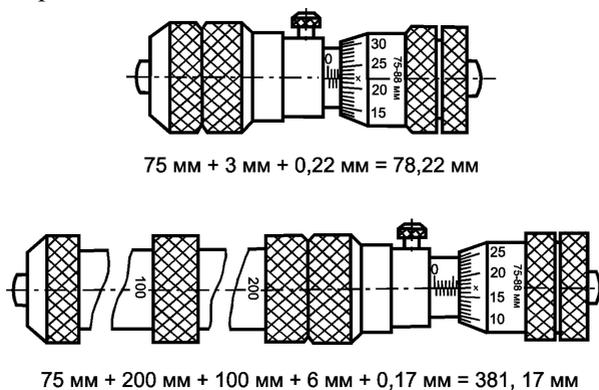


Рис. 9. Примеры чтения показаний с микрометрического нутромера

1.5.2.3 Миниметр и микрокатор

Для измерения геометрических параметров деталей с высокой точностью невозможно использовать широко применяемые в машиностроении штангенинструменты и микрометры, так как цена деления нониусных шкал у первых составляет 0,1 или 0,05 мм, а цена деления барабана у вторых 0,01 мм. В связи с этим для измерения линейных размеров деталей весьма часто используют рычажно-механические и оптико-механические приборы, к которым относятся миниметры, микрокаторы и оптиметры [2, 8, 12]. Данные приборы применяют, как правило, для измерения по относительному методу, то есть для измерения методом сравнения с мерой, что обусловлено малыми диапазонами показаний шкал приборов.

При относительном методе измерения прибор настраивается на нуль по блоку концевых мер (плиток). Заменив блок плиток измеряемой деталью, по шкале определяют искомое ΔX (рис. 1).

Для определения действительного размера детали L необходимо к размеру блока плиток M прибавить или вычесть из него (в зависимости от направления смещения стрелки или нулевого штриха) полученное отклонение:

$$L = M \pm \Delta X .$$

Миниметр и микрокатор – это рычажно-механические измерительные приборы, преобразующие малые отклонения размеров изделий в удобные для отсчета перемещения стрелки по шкале.

Конструкция миниметра, схема которого представлена на рис. 10, основана на применении неравноплечего рычага. Малым плечом a является расстояние между подвижной 2 и неподвижной 4 ножевыми опорами, которые входят в V – образные вырезы составной призмы 3. Большим плечом является расстояние L от конца стрелки 6 до опорного ножа 4. Измерительный стержень 1 прибора через качающуюся опору 2 связан с призмой 3, которая может поворачиваться вокруг острия неподвижной опоры 4. При этом происходит поворот рамки 5 и связанной с ней стрелки 6 относительно шкалы 7. Измерительная сила, создаваемая пружиной 8, равна 400 сН.

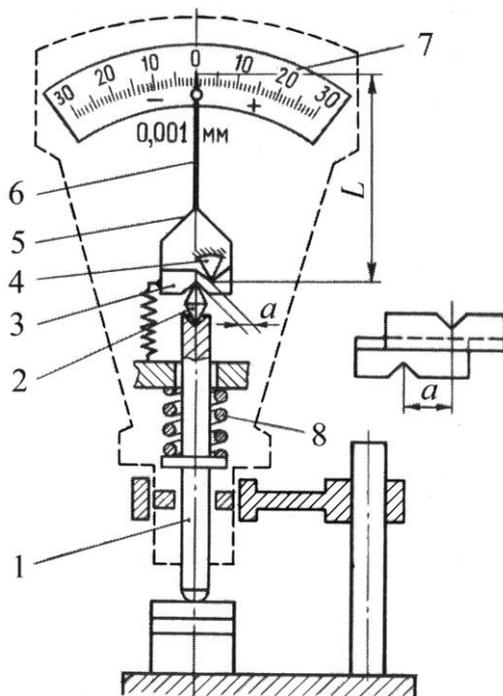


Рис. 10. Схема миниметра

Передаточное отношение или увеличение миниметра определяется по формуле $K = L/a$.

На рис. 11 представлен общий вид миниметра со стойкой типа С-Ш. На гильзу миниметра 8 надет арретир 6 для отвода измерительного наконечника 5. Гильза зажимается винтом 7 в разрезной муфте кронштейна 9, который перемещается по колонке при вращении кольца 11 и зажимается винтом 10. Колонка запрессована в устойчивое основание 12, на котором расположен предметный столик 4. Горизонтальное положение столика устанавливают вращением микровинтов 3. В вертикальном направлении столик перемещают в пределах нескольких миллиметров вращением гайки 1 микрометрического механизма и фиксируют винтом 2.

Установка прибора на нуль производится следующим образом: блок из концевых мер, собранный на необходимый размер, притирается к предметному столику 4, при этом винт 2 должен быть ослаблен; после этого, вращая кольцо 11, кронштейн опускают до соприкосновения измерительного наконечника 5 с верхней измерительной поверхностью блока, и в этом положении кронштейн закрепляют винтом 10. Точная установка стрелки прибора в нулевое положение производится гайкой 1, после чего столик закрепляется винтом 2.

Основные параметры миниметра приведены в табл. 5.

Схема пружинной измерительной головки ИГП – микрокатора приведена на рис. 12.

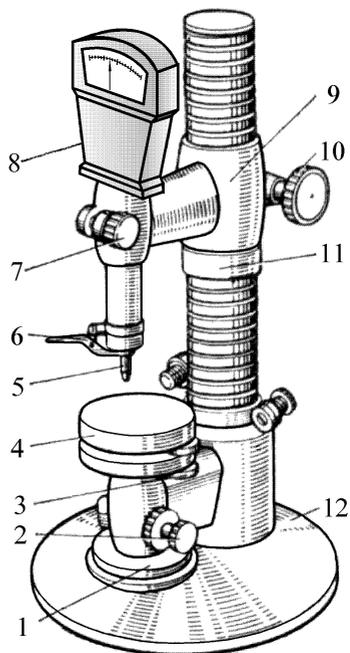


Рис. 11. Общий вид миниметра со стойкой

Т а б л и ц а 5. Основные параметры миниметра и вертикального оптиметра

Измерительные средства	Диапазон измерений, мм	Диапазон измерений по шкале, мм	Цена деления шкалы, мкм	Допускаемая погрешность $\Delta_{си}$, мкм
миниметр	0 – 200	$\pm 0,06$	2	2
оптиметр	0 – 200	$\pm 0,1$	1	0,5...1

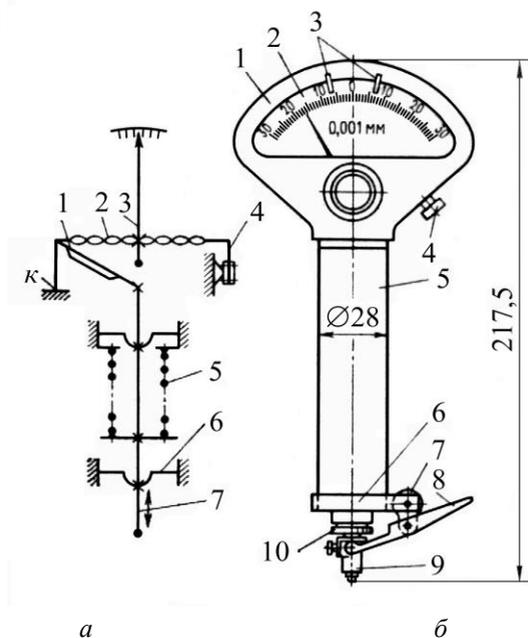


Рис. 12. Пружинная измерительная головка ИГП – микрокатор:
а – схема; *б* – внешний вид

Микрокаторы применяют для высокоточных относительных измерений размеров, а также отклонений форм изделий со стойками С-I и С-II и приспособлениями, имеющими присоединительный размер 28 мм. В качестве чувствительного элемента в микрокаторах (рис. 12а) используется специальная ленточная пружина 2, завитая спирально от середины в разные стороны и закрепленная по концам на плоских пружинах. К середине пружины приклеена стрелка 3. Перемещение измерительного стержня 7 вызывает изменение длины пружины 2 и поворот ее средней части. Смещение стрелки относительно шкалы прибора пропорционально перемещению измерительного стержня. Преимущества пружинных передач: высокая чувствительность ленточных пружин, обеспечивающая большую точность измерений; отсутствие внешнего трения и минимальная разность прямого и обратного хода.

Как видно из рис. 12а, ленточная пружина 2 закреплена на угольнике 1 и консольной пружине 4, установленной на угловом выступе. Изменяя положение пружины 4 с помощью винтов, которыми она крепится к выступу, регулируют натяжение ленточной пружины и устанавливают прибор на нуль. Измерительный стержень 7 подвешен на мембранах 6 и жестко связан с угольником 1. Перемещение стержня вызывает поворот угольника вокруг точки и растяжение пружины. Измерительное усилие создается пружиной 5.

Пружинная передача микрокатора (рис. 12б) закреплена в корпусе 1, к которому присоединена гильза 5. Положение шкалы 2 регулируется в пределах ± 5 делений винтом 4 для установки прибора на нуль. Указатели 3 поля допуска перемещаются рычажками, расположенными на задней стороне корпуса. На конце гильзы с помощью хомута 6, зажимаемого винтом 7, установлен арретир 8, соединенный с измерительным наконечником 9 со сферической поверхностью. Фиксатором 10 измерительный стержень зажимают при транспортировании.

Основные параметры пружинных измерительных головок (микрокаторов) различных типов приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6. Основные параметры микрокаторов различных типов

Тип Головки	Цена деления шкалы, мкм	Диапазон измерений, мкм	Допускаемая погрешность на любом участке шкалы $\Delta_{си}$, мкм		Размах показаний в делениях шкалы
			Число делений		
			до 30	св. 30	
01 ИГП	0,1	± 4	0,1	0,15	$\frac{1}{3}$
02 ИГП	0,2	± 6	0,15	0,2	
05 ИГП	0,5	± 15	0,25	0,4	
1 ИГП	1	± 30	0,4	0,6	$\frac{1}{4}$
2 ИГП	2	± 60	0,8	1,2	
5 ИГП	5	± 150	2,0	3,0	
10 ИГП	10	± 300	3,0	5,0	

Методика настройки микрокатеров по блоку концевых мер и методика измерения размеров деталей аналогичны используемым при работе с миниметрами.

1.5.2.4 Рычажные скобы

Рычажные скобы (рис. 13а) состоят из корпуса 1, в котором размещено отсчетное устройство со шкалой 4, указателями поля допуска 3 и стрелкой 5. Положение указателей регулируют винтами при снятой крышке 6. Пружина 12 сообщает подвижной пятке 11 измерительное усилие. Передвижная пятка 10 перемещается винтом 8, закрываемым колпачком 7, и зажимается стопором 9. Пятка 11 отводится кнопкой 2 арретира. Встроенное отсчетное устройство скобы имеет рычажно-зубчатый механизм (рис. 13б). Подвижная пятка 4 поворачивает рычаг 3, большое плечо которого заканчивается зубчатым сектором 6, находящимся в зацеплении с трибом 7 (трибом в приборостроении называют зубчатое колесо с числом зубьев $z \leq 18$).

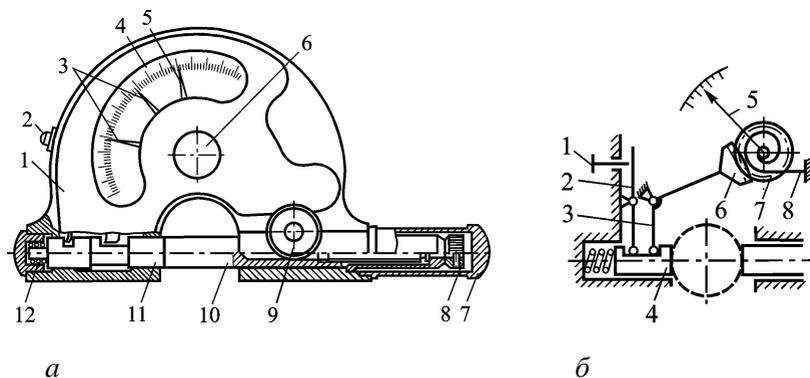


Рис. 13. Рычажная скоба: а – устройство; б – схема

На оси триба укреплены стрелка 5 и пружинный волосок 8. Арретир 2 перемещает пятку 4 при нажатии кнопки 1. Пределы измерений рычажных скоб составляют 0...25, 25...50, ..., 125...150 мм; диапазон перемещения переставной пятки 25 мм. Основная допускаемая погрешность не превышает 2 мкм.

Скобы устанавливаются на размер по блоку концевых мер длины. Передвижную пятку приводят в соприкосновение с поверхностью меры так, чтобы стрелка рычажной скобы установилась на нуль. Закрепив пятку стопором, закрывают ее колпачком от повреждений и загрязнений. Действительный размер изделия определяют как сумму размера блока мер и разности показаний отсчетного устройства при установке меры, а затем изделия.

1.5.2.5 Оптиметр

Оптиметр предназначается главным образом для измерений наружных и внутренних размеров методом сравнения с концевыми мерами, калибрами или деталями-образцами, но может также с успехом применяться в качестве индикатора для проверок различных установок, требующих высокой точности измерений [2].

Устройство прибора основано на сочетании принципов автоколлимации и оптического рычага.

Конструктивно оптиметр представляет собой коленчатую металлическую трубку, внутри которой установлены измерительная головка с колебательной системой зеркала и оптические детали автоколлимационной системы.

Оптическая схема измерительной трубки оптиметра с окулярным отсчетом показана на рис. 14а. Световой поток от внешнего источника света А, отразившись от зеркала 3, через призму 2 полного внутреннего отражения освещает шкалу, нанесенную на левой стороне окулярной сетки 4, которая находится в фокальной плоскости объектива 6. Сеткой называется стеклянная пластина, на которой различными способами нанесены деления шкалы. Призма 5 поворачивает ход лучей на 90° и позволяет придать трубке удобную форму колена.

Световой поток проходит через объектив и, отразившись от зеркала 7, дает автоколлимационное обратное изображение шкалы в правой части окулярной сетки, на которой нанесен указатель. То есть принцип автоколлимации – это свойство объектива превращать пучок расходящихся лучей, исходящих из точечного источника света, располо-

женного в фокусе объектива, в пучок параллельных лучей, который после отражения зеркалом собирается в том же фокусе объектива. Увеличенное изображение шкалы наблюдается через окуляр 1 оптиметра. Зеркало 7 прижимается двумя пружинами к шарикам 8 и измерительному стержню 9.

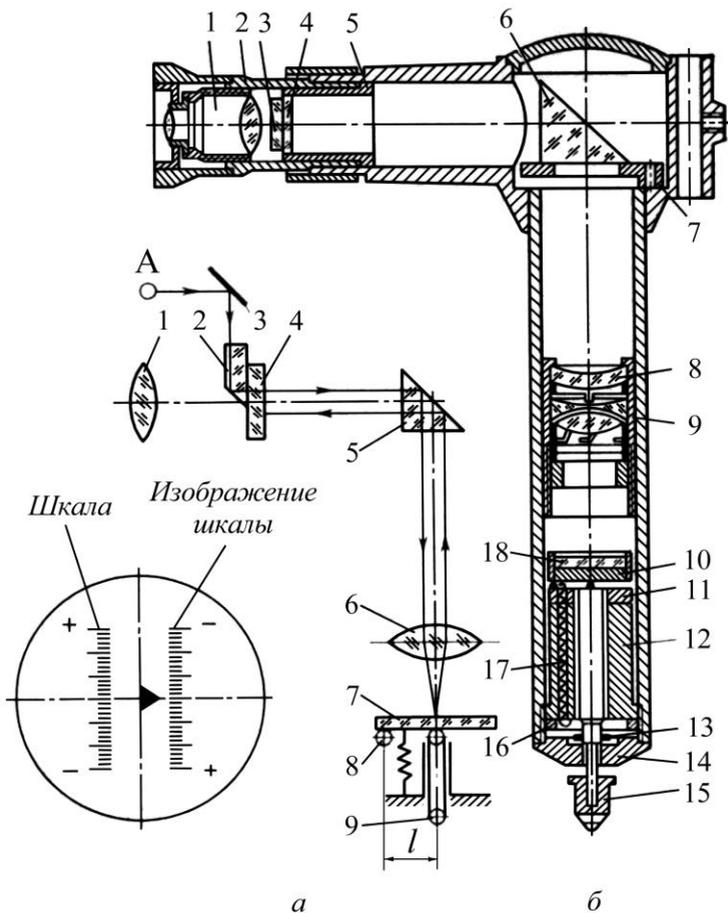


Рис. 14. Трубка окулярного оптиметра:
а – схема; б – устройство

Если плоскость зеркала 7 располагается перпендикулярно главной оптической оси (такое положение зеркало принимает при настройке оптиметра по блоку плиток), то исходная шкала и ее изображение будут находиться на одном уровне по вертикали и нулевой штрих изображения шкалы будет совпадать с указателем.

Если при измерении окажется, что размер детали отличается от размера блока концевых мер, то измерительный стержень 9 переместится вверх или вниз, зеркало при этом отклонится на некоторый угол α и изображение шкалы сместится по вертикали относительно указателя.

Величина смещения будет соответствовать отклонению действительного размера детали от размера блока концевых мер, по которому был настроен оптиметр.

Для того чтобы преобразовать малые перемещения измерительного стержня в значительные перемещения изображения шкалы, в конструкции оптиметра используется принцип оптического рычага: малым плечом рычага является расстояние l от точки опоры качающегося зеркала 7 до оси измерительного стержня 9, большим – фокусное расстояние объектива f .

В оптиметрах фокусное расстояние $f = 200$ мм, а длина механического рычага $l = 5$ мм, что обеспечивает передаточное отношение $S = 2f/l = 2 \cdot 200/5 = 80$. Шкала оптиметра имеет число делений $n = 200$ с интервалом делений $a = 0,08$ мм. Цена деления $C = a/S = 0,08/80 = 0,001$ мм. Увеличение окуляра $z = \times 12$ обеспечивает удобное наблюдение шкалы. Видимый интервал деления шкалы составляет $a' = az = 0,08 \cdot 12 = 0,96$ мм. Пределы измерений по шкале прибора $\pm Cn/2 = \pm 0,001 \cdot 200/2 = \pm 0,1$ мм.

Все детали трубки оптиметра собирают и устанавливают в коленобразной трубке (рис. 14, б). Измерительный стержень с наконечником 15 и зеркало 18, установленное на основании 10, собирают на втулке, которая закрепляется в трубке гайкой 16 с наружной резьбой.

Основание 10 прижимается пружиной 17 к шарикам на шайбе 11 и стержню. Шайба 13 ограничивает ход стержня, упираясь в крышку 14. Линзы 8 объектива собраны в трубке 9. Призма 6 установлена на плате 7. Окулярная сетка 4, на которой фотографическим путем нанесены шкалы и указатель, и осветительная призма 3 закреплены в тубусе 5, который тремя радиальными винтами укреплен во втулке 2. На втулку с помощью многоходовой резьбы навинчивается окуляр 1, что позволяет регулировать четкость изображения шкалы.

Оптиметры используют в сочетании с вертикальными стойками и горизонтальными штативами.

Оптиметры на вертикальной стойке типа С-П, или, как принято для краткости называть, «вертикальные оптиметры» (рис. 15) могут с одинаковым успехом применяться в лабораториях точных измерений и на контрольно-измерительных участках цехов.

Основные параметры вертикального оптиметра представлены в табл. 5 (см. стр. 30).

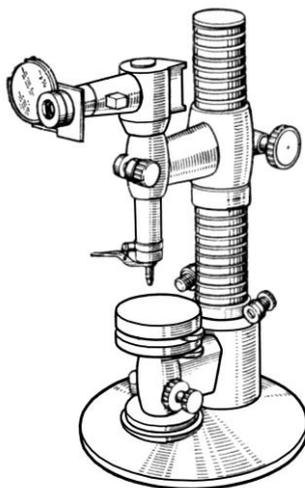


Рис. 15. Вертикальный оптиметр

1.5.2.6 Индикаторный нутромер

Индикаторные нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров и диаметров отверстий в пределах от 2...1000 мм на глубине до 500 мм. Их конструкции разнообразны [2]. Они могут оснащаться индикаторами с ценой деления 1 мкм, 2 мкм и 10 мкм, и в зависимости от диапазона измерения и типа индикатора имеют пределы допускаемой погрешности 1 мкм, 8 мкм и 22 мкм.

Нутромер для измерения размеров от 18 мм до 450 мм представлен на рис. 16. В насадке 10 закреплена втулка 7, в которую с одной стороны ввернут регулируемый стержень 9, с другой свободно входит подвижный стержень 12. При установке нутромера на размер положение стержня 9 регулируют таким образом, чтобы кольцевая риска на стержне 12 находилась в плоскости торца втулки 7. При этом плечи рычага 11 располагаются перпендикулярно к осям стержней 9 и 5, что обеспечивает минимальные погрешности рычажной передачи. Поло-

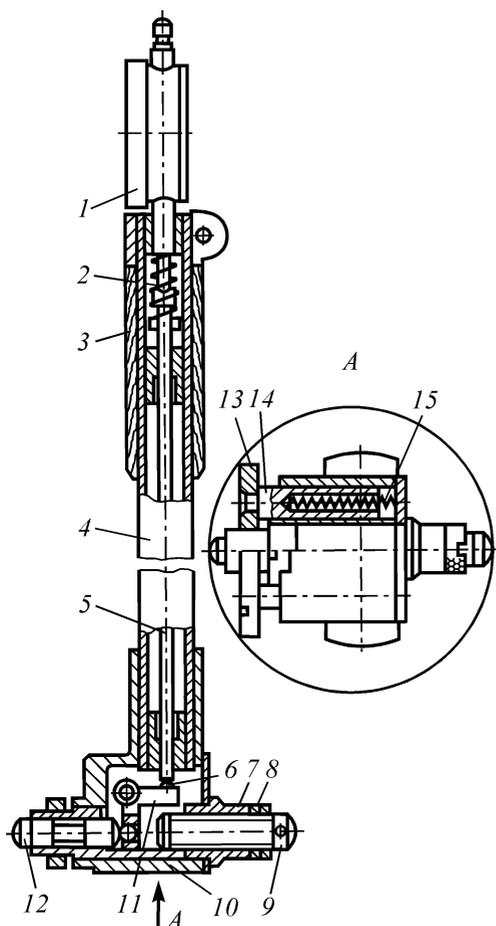


Рис. 16. Нутромер индикаторный

жение стержня 9 после регулировки фиксируют гайкой 8. Перемещение стержня 12 через рычаг 11, в плечи которого впрессованы шарики 6 и стержень 5, передается индикатору 1, установленному в корпусе 4 с теплоизолированной ручкой 3. Измерительное усилие создается пружиной индикатора и пружиной 2. В отверстия насадки 10 вставлены направляющие стержни 14 центрирующего мостика 13. Пружины 15 прижимают мостик к поверхности отверстия. Основные погрешности при измерении нутромерами возникают вследствие смещения линии измерения относительно диаметра отверстия и перекоса нутромера в отверстии относительно его оси.

Перед измерением нутромеры устанавливаются на номинальный размер отверстия с помощью аттестованного кольца, блока концевых мер или микрометра.

Нутромеры оснащаются индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Зубчатые измерительные головки – индикаторы часового типа – изготавливаются следующих основных типов:

– ИЧ 02; ИЧ 05; ИЧ 10 – перемещение измерительного стержня параллельно шкале, диапазоны измерений соответственно 0...2; 0...5; 0...10 мм.

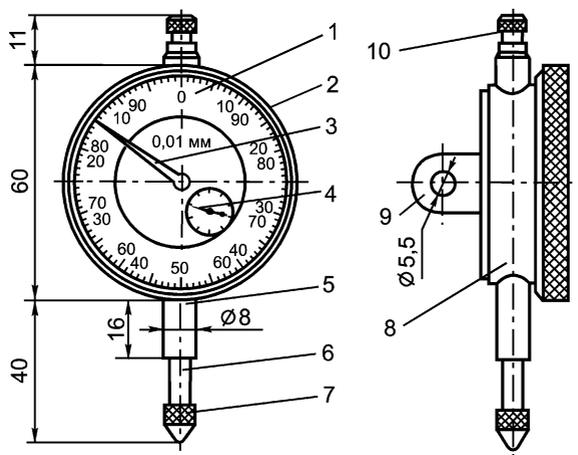
– ИТ 02 – перемещение стержня перпендикулярно к шкале и диапазон измерений 0...2 мм.

Индикаторы типа ИЧ 05 и ИЧ 10 выпускаются в корпусе диаметром 60 мм, а индикаторы ИЧ 02 и ИТ 02 – в корпусе диаметром 42 мм (малогабаритные).

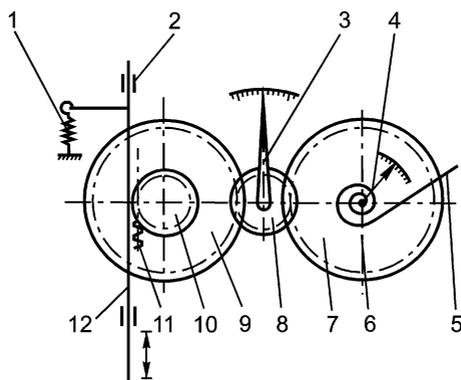
Устройство и принципиальная схема индикатора типа ИЧ показаны на рис. 17. Основными составляющими индикатора (рис.17а) являются: циферблат 1 со шкалой, ободок 2, стрелка 3, указатель 4 числа оборотов стрелки, гильза 5, измерительный стержень 6 с наконечником 7, корпус 8, ушко 9 и головка 10 стержня.

Гильза и ушко служат для крепления индикатора на стойках, штативах и приспособлениях. Поворотом ободка 2, на котором закреплен циферблат, стрелку совмещают с любым делением шкалы. За головку 10 стержень отводят при установке детали под измерительный наконечник.

Принцип действия индикатора заключается в следующем (рис. 17б). Измерительный стержень 12 перемещается в точных направляющих втулках 2, запрессованных в гильзы корпуса. На стержне нарезана зубчатая рейка 11, которая поворачивает триб 10 с числом зубьев $z = 16$. Зубчатое колесо 9 ($z = 100$), установленное на одной оси с трибом 10, передает вращение трибу 8 ($z = 10$). На оси триба 8 закреплена стрелка 3. В зацеплении с трибом 8 находится также зубчатое колесо 7 ($z = 100$), на оси которого закреплены указатель 4 и втулка 6 с пружинным волоском 5, другой конец которого прикреплен к корпусу.



a



б

Рис. 17. Индикатор типа ИЧ:

a – общий вид, *б* – кинематическая схема индикатора

Колесо 7, находясь под действием волоска, обеспечивает работу всей передачи прибора на одной стороне профиля зуба и тем самым устраняет мертвый ход передачи. Пружина 1 создает измерительное усилие на стержне.

Передаточное отношение зубчатого механизма выбрано так, что при перемещении измерительного стержня на расстояние $l = 1$ мм стрелка совершает полный оборот, а указатель поворачивается на одно деление. Шкала индикатора имеет число делений $n = 100$. Цена деления шкалы циферблата $C = l/n = 1/100 = 0,01$ мм.

В корпусе малогабаритных индикаторов нельзя разместить полные зубчатые колеса с числом зубьев $z = 100$, поэтому они заменены зубчатыми секторами. У торцовых индикаторов ИТ 02 перемещение измерительного стержня передается рейке зубчатого механизма через двухплечный рычаг, имеющий передаточное отношение, равное единице. Индикаторы ИТ имеют такие же основные элементы и цену деления шкалы, как индикаторы ИЧ.

Индикаторы часового типа выпускаются классов точности 0 и 1. Основные допускаемые погрешности этих индикаторов приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7. Допускаемая погрешность индикаторов часового типа

Класс точности индикатора	Участок шкалы, мкм				
	0,1	1	0...2	0...5	0...10
	Допускаемая погрешность, мкм				
0	4	8	10	12	15
1	6	10	12	16	20

Настройка индикаторного нутромера на размер выполняется в следующем порядке:

- 1) стержень 9 (рис. 16), длина которого выбирается в зависимости от размера измеряемого отверстия, вворачивается во втулку 7;
- 2) индикатор 1 закрепляется в корпусе 4 нутромера с предварительным натягом, приблизительно равным одному обороту стрелки;
- 3) настройка нутромера на номинальный размер производится по аттестованному кольцу или микрометру; шкалу индикатора в нулевое положение устанавливают поворотом ободка;

4) поднимая и опуская измерительный стержень за головку, проверяют постоянство показаний индикатора. Если наблюдается отклонение стрелки от нуля, настройку повторяют.

Измерения выполняют в следующем порядке:

1) приподняв наконечник индикатора, насадку 10 нутромера вводят в измеряемое отверстие, при этом стремятся, чтобы концы стержней 9 и 12 находились в противоположных точках диаметра, в плоскости, перпендикулярной оси отверстия;

2) производят отсчет отклонений стрелки от нуля;

3) измерение каждого отверстия производят 4 раза. За результат измерения принимают среднеарифметическое из 4 измерений (наблюдений).

1.5.3 Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе.

2) Изучить конструкции, принцип работы, метрологические характеристики средств измерений (штангенинструментов, микрометрических инструментов, миниметра, рычажной скобы, вертикального оптиметра, микрометра, индикаторного нутромера), приобрести навыки пользования указанными средствами измерений.

3) Выполнить эскизы средств измерений.

4) Получить у преподавателя детали и произвести выбор средств измерений для каждой из них.

5) Получить у лаборанта необходимые средства измерений.

6) Выполнить измерения деталей, результаты занести в таблицу.

7) Сопоставить результаты измерений с допусками по ГОСТ 25346-2013 и дать заключение о годности размеров.

8) Ответить на контрольные вопросы.

9) Оформить отчёт по работе и предъявить его преподавателю.

Контрольные вопросы

1. Что называется измерением?
2. Какое измерение называется однократным?
3. Какое измерение называется многократным?
4. Перечислите основные измерительные средства.
5. Что является количественной характеристикой качества измерения?
6. Что понимается под относительным методом измерения?
7. Что называется прямыми измерениями?
8. Что называется косвенными измерениями?
9. Какие измерения называются совместными?
10. Какие измерения называются совокупными?
11. Что понимается под абсолютными измерениями?
12. Чем отличается простое от статистического измерения?
13. Что такое длина (интервал) деления шкалы?
14. Что такое цена деления шкалы?
15. Что такое диапазон показаний (измерений по шкале)?
16. Что такое диапазон измерений?
17. Что такое чувствительность?
18. Что такое стабильность?
19. Что такое измерительное усилие?
20. Как осуществляется измерительное усилие в миниметре?
21. Как осуществляется измерительное усилие в микрометре?
22. Как осуществляется измерительное усилие в микрокаторе?
23. На каких принципах основана работа оптиметра?
24. Какие измерительные приборы из приведенных в разделе 1.5.2 данного лабораторного практикума используются преимущественно для работы по относительному методу измерения?
25. Что понимается под действительным значением физической величины (размера детали)?
26. Как определяется погрешность измерения?
27. Что называется погрешностью средства измерения?
28. Какие факторы учитывают при выборе средств измерений?

29. От каких факторов зависит допускаемая погрешность измерения?
30. От чего зависит предельная погрешность средства измерения?
31. От чего зависит экономически целесообразная допускаемая погрешность средства измерения?
32. Как соотносятся между собой $\Delta_{эци}$, $\Delta_{ци}$, δ ?
33. Что в миниметре является малым плечом? Большим плечом?
34. Выбрать средства измерения валиков: $\varnothing 50h6$; $\varnothing 40h9$; $\varnothing 30h8$; $\varnothing 100h12$ и т.д., приведя необходимые пояснения.
35. Выбрать средства измерения отверстий: $\varnothing 80H7$; $\varnothing 100H11$; $\varnothing 25H9$.

1.6. Лабораторная работа 2. Гладкие калибры и их измерение с помощью рычажно-механических и оптико-механических приборов

Цель работы: освоение относительного метода измерения деталей на примере контроля гладких калибров при помощи рычажно-механических (миниметра, микрокатора) и оптико-механического (вертикального оптиметра) приборов.

1.6.1 Типы и конструкции калибров

В условиях производства, особенно крупносерийного и массового, для контроля годности деталей, размеры которых выполнены с допусками по 6...17 квалитетам, широко используют предельные калибры. Преимуществом метода контроля размеров деталей предельными калибрами по сравнению с существующими методами измерений является его высокая производительность, простота и экономичность.

Калибры – это бесшкальные контрольные инструменты, с помощью которых проверяют размеры гладких цилиндрических, конусных, резьбовых и шлицевых деталей, глубин и высот выступов, а также расположение поверхностей. В отличие от приборов и универсальных

измерительных инструментов, снабженных отсчетными устройствами (шкалой), калибры не позволяют определить действительное значение контролируемого размера, а лишь устанавливают, находится ли данный размер в границах поля допуска.

Поскольку поле допуска ограничено двумя предельными размерами, то для контроля детали необходимо иметь два калибра, один из которых позволяет установить выходит ли действительный размер детали за наибольший, а второй – за наименьший предельный размеры. Такие калибры называются *предельными*. В зависимости от формы контролируемых деталей калибры подразделяются на гладкие, резьбовые, шлицевые и т.п.

Комплект гладких рабочих предельных калибров для контроля размеров цилиндрических деталей состоит из проходного ПР и непроходного НЕ калибров (рис. 18).

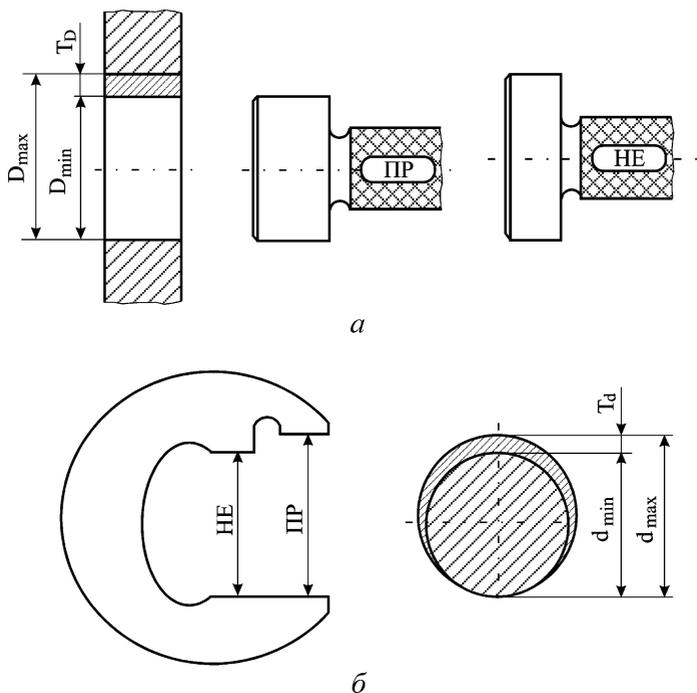


Рис. 18. Схемы контроля гладкими предельными калибрами отверстия (а) и вала (б)

Для контроля размеров отверстий применяют калибры-пробки (рис. 18а). Назначение проходной пробки ПР – отсеивание всех деталей с размером меньше D_{\min} . Если калибр ПР в отверстие не входит, то это означает брак, но исправимый; отверстие требует дополнительной обработки. Назначение непроходной пробки НЕ – отсеивание всех деталей с размером больше D_{\max} . Если в отверстие входит калибр НЕ, то это означает неисправимый брак. Деталь считается годной, то есть размеры отверстия лежат в заданных пределах, если проходная пробка под действием собственного веса или усилия примерно равного ему входит в контролируемое отверстие, а непроходная пробка в него не входит. Внешне проходная пробка от непроходной отличается меньшей высотой.

Для контроля размеров валов применяют калибр-скобы (рис. 18б). Назначение проходной скобы ПР – отсеивание всех деталей с размером больше d_{\max} . Если вал не проходит через калибр-скобу ПР, то имеет место исправимый брак; вал требует дополнительной обработки. Назначение непроходной скобы НЕ – отсеивание всех деталей с размером меньше d_{\min} .

Основные типы калибр-пробок для контроля отверстий показаны на рис. 19.

Контролируемый вал является неисправимым браком, если он проходит в калибр-скобу НЕ. Вал считается годным, то есть его размеры лежат в заданных пределах, если при усилии приложенном к калибру, и примерно равным его весу, вал проходит через проходную калибр-скобу и не проходит через непроходную. Конструкции калибр-скоб приведены на рис. 20.

По назначению калибры разделяют на рабочие и контрольные.

Рабочие калибры (ПР, НЕ) применяются для контроля размеров детали.

Контрольные калибры (К-ПР, К-НЕ, К-И) предназначены для контроля размеров скоб в процессе их изготовления и эксплуатации, а также для установки регулируемых скоб на размер: калибр К-ПР при-

меняется для контроля рабочей проходной скобы; калибр К-НЕ – для контроля непроходной скобы при ее изготовлении (в годные скобы эти калибры должны входить под собственным весом); с помощью калибра К-И контролируется износ проходной скобы (скоба считается изношенной, если в нее входит калибр К-И).

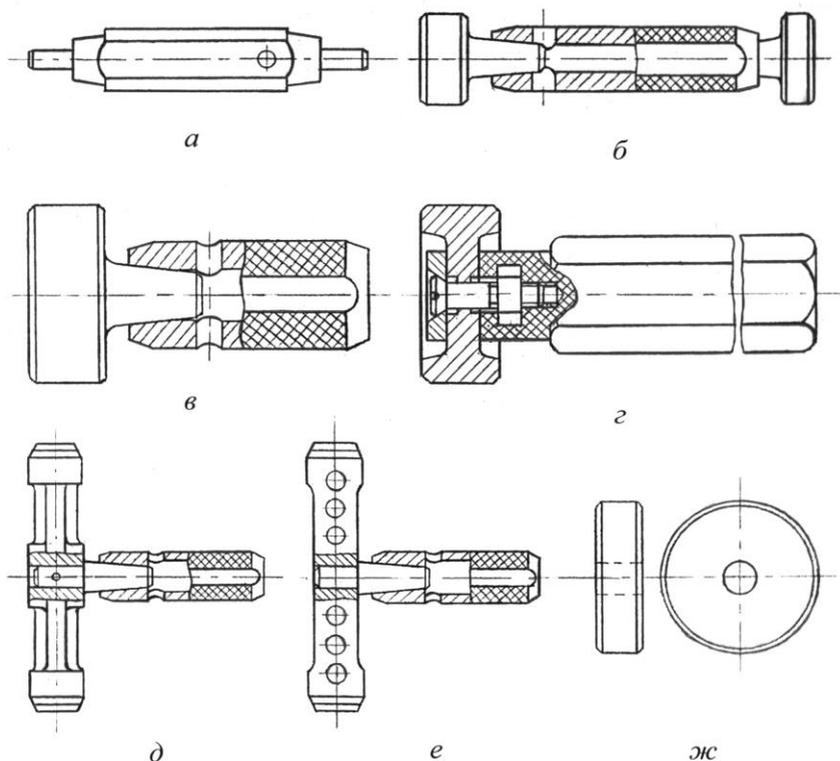


Рис. 19. Основные типы калибр-пробок для контроля отверстий и контрольный калибр к скобам:

a – пробка двухсторонняя со вставками ($D = 1 \dots 6$ мм); *b* – пробка двухсторонняя со вставками ($D = 3 \dots 50$ мм); *v* – пробка проходная (непроходная) со вставками ($D = 52 \dots 75$ мм); *z* – пробка штампованная проходная (непроходная) с насадками ($D = 52 \dots 100$ мм); *d* – пробка проходная (непроходная) неполная ($D = 102(75) \dots 160$ мм); *e* – пробка проходная (непроходная) неполная ($D = 102(75) \dots 300$ мм); *жс* – шайба полная ($D = 18 \dots 100$ мм)

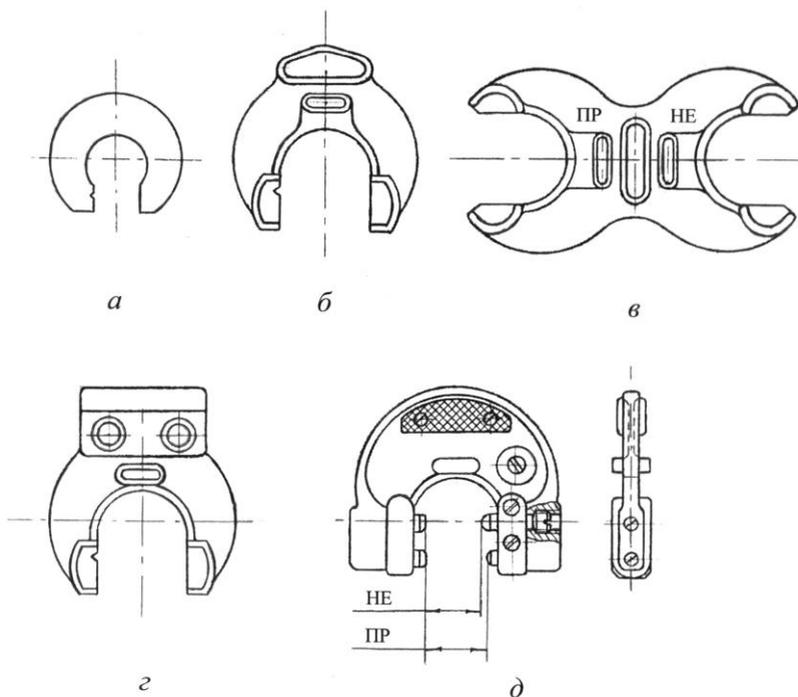


Рис. 20. Основные типы калибр-скоб для контроля валов:
а – скоба односторонняя ($D = 1...180$ мм); *б* – скоба штампованная односторонняя ($D = 3...50$ мм); *в* – скоба штампованная двухсторонняя ($D = 3...100$ мм); *г* – скоба с ручкой штампованная односторонняя ($D = 50...170$ мм); *д* – скоба односторонняя регулируемая (диапазон регулируемых размеров от 0 до 340 мм)

Контрольные калибры для пробок не предусмотрены, так как контроль пробок в процессе изготовления и эксплуатации легко осуществляется с помощью универсальных приборов (миниметра, микрокататора, оптиметра и др.).

Гладкие нерегулируемые калибры должны изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 2015-84 (некоторые из которых приведены ниже), а гладкие регулируемые калибр-скобы – с требованиями ГОСТ 2216-84. Основные требования к калибрам: высокая точность изготовления, большая жесткость при малой массе, износо-

устойчивость, коррозионная стойкость, стабильность рабочих размеров, удобство в работе.

Вставки и насадки калибр-пробок могут изготавливаться из стали ШХ15 по ГОСТ 801-78. Допускается изготовление вставок и насадок для калибров всех видов, кроме неполных калибр-пробок, получаемых штамповкой, из стали марок У10А или У12А по ГОСТ 1435-99, для калибров диаметром более 10 мм – из стали марок 15 или 20 по ГОСТ 1050-2013.

Корпусы калибр-скоб, не имеющие отдельных губок, и губки составных калибр-скоб должны изготавливаться из стали марок 15 или 20 по ГОСТ 1050-2013. Допускается их изготовление из стали марок У8А, У10А или У12А по ГОСТ 1435-99. Корпуса калибр-скоб, имеющие отдельные губки, должны изготавливаться из стали марок 35 или 40 по ГОСТ 1050-2013.

Твердость измерительных поверхностей калибров должна быть в пределах 57...65 HRC_Э (для инструментальных, углеродистых и легированных сталей применяется закалка, для малоуглеродистых – цементация на глубину не менее 0,5 мм с последующей закалкой).

Т а б л и ц а 8. Шероховатость рабочих поверхностей калибров

Вид Калибра	Квалитет контролируемого изделия	Параметр шероховатости <i>Ra</i> по ГОСТ 2789-73, мкм, для диаметров	
		от 0,1 до 100 мм	св. 100 до 360 мм
Калибр-пробка	6	0,04	0,08
	7-9	0,08	0,16
	10-12	0,16	
Калибр-скоба	6-9	0,08	0,16
	10-12	0,16	
Контрольный калибр	6-9	0,04	0,08

Рабочие поверхности, поверхности заходных и выходных фасок калиб-пробок всех видов для диаметров от 1 до 100 мм, кроме листовых и неполных калибр-пробок, должны иметь хромовое или другое износостойкое покрытие.

Шероховатость рабочих поверхностей калибров должна соответствовать значениям, указанным в табл. 8.

При маркировке на калибр наносят: номинальный размер детали, для контроля которого предназначен калибр; буквенное обозначение поля допуска изделия, на рабочих калибрах; величину предельных отклонений изделия в миллиметрах; тип калибра (например, ПР, НЕ, К-И) и товарный знак завода изготовителя.

1.6.2 Расчет предельных размеров гладких калибров

Для того чтобы проходные ПР и непроходные НЕ калибры выполняли указанные функции необходимо определенным образом рассчитать их исполнительные размеры. Под исполнительными размерами калибра понимают размеры, проставляемые на его рабочем чертеже и содержащие номинальный размер и предельные отклонения.

В основу расчета гладких калибров положены предельные размеры контролируемых деталей. Так, в основу расчета непроходных калибров положены: наибольший предельный размер отверстия D_{\max} – для калибров-пробок и наименьший предельный размер вала d_{\min} – для калибров-скоб, а в основу расчета проходных калибров – наименьший предельный размер отверстия D_{\min} – для калибров-пробок и наибольший предельный размер вала d_{\max} – для калибров-скоб.

На рис. 21 и 22 даны схемы расположения полей допусков гладких калибров для номинальных размеров до 180 мм.

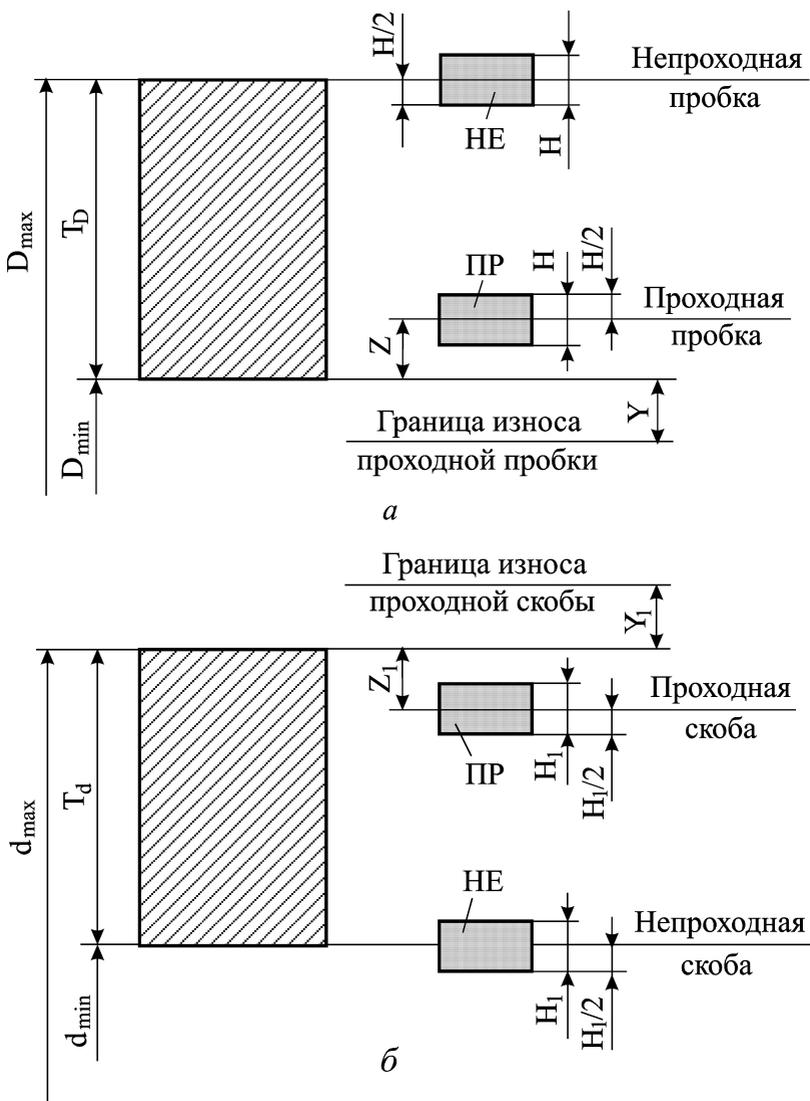


Рис. 21. Схемы расположения полей допусков гладких калибров для контроля отверстий (а) и валов (б) с номинальными размерами до 180 мм и допуском изготовления по IT6-IT8

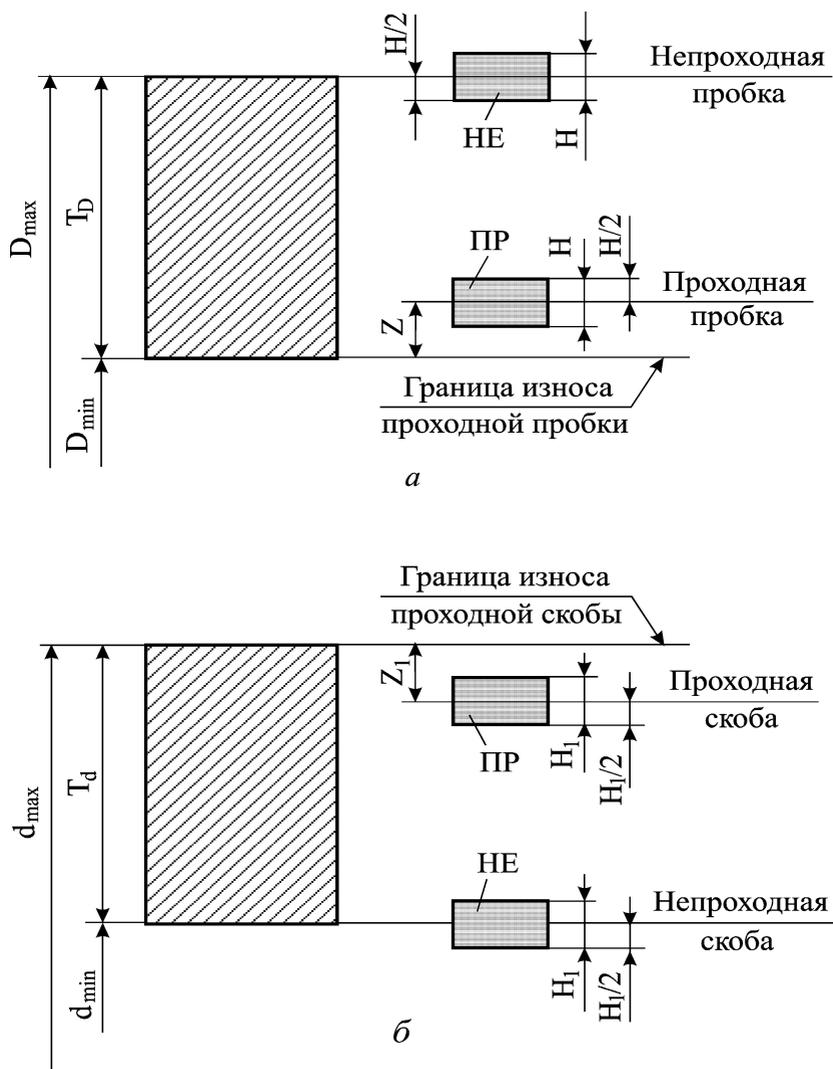


Рис. 22. Схемы расположения полей допусков гладких калибров для контроля отверстий (а) и валов (б) с номинальными размерами до 180 мм и допуском изготовления по IT9-IT17

Как видно из рис. 21 и 22, поле допуска на неточность изготовления непроходных пробок (H) располагается симметрично относительно размера D_{\max} , а непроходных скоб (H_1) – симметрично размера d_{\min} . В тоже время поле допуска на неточность изготовления проходных пробок (H) располагается не симметрично относительно размера D_{\min} и смещено внутрь поля допуска отверстия на величину Z . Поле допуска на неточность изготовления проходных скоб (H_1) располагается не симметрично относительно размера d_{\max} и смещено внутрь поля допуска вала на величину Z_1 . Указанное различие в расположении полей допусков непроходных и проходных калибров связано с тем, что в процессе контроля проходные калибры изнашиваются, в связи с чем им необходимо обеспечить достаточный срок службы. Поэтому для проходных калибров устанавливается определенный допуск на износ, граница которого определяется координатой Y для калибров-пробок и Y_1 для калибров-скоб и выходит за пределы поля допуска на изготовление детали при контроле валов и отверстий выполненных по 6...8 квалитетам (рис. 21). При контроле валов и отверстий, изготовленных по 9...17 квалитетам, граница износа проходных пробок совпадает с D_{\min} , а проходных скоб с d_{\max} , то есть величины $Y = Y_1 = 0$ (рис. 22).

Схемы полей допусков гладких калибров для номинальных размеров свыше 180 мм приведены в ГОСТ 24853-81. Расположение полей допусков калибров, предназначенных для контроля отверстий и валов с размерами свыше 180 мм, отличается от расположения полей допусков калибров, используемых для контроля подобных деталей с размерами до 180 мм, смещением допуска непроходных калибров и границы износа проходных калибров внутрь поля допуска детали на величину α – для калибров-пробок и α_1 – для калибров-скоб. Это связано с тем, что с увеличением размеров деталей погрешность контроля калибрами увеличивается и главным образом за счет появления значительных упругих деформаций контрольных инструментов.

Допуски и отклонения калибров в зависимости от качества и номинального размера контролируемой детали установлены ГОСТ 24853-81. Для расчета исполнительных размеров калибр-пробок по табл. 9 определяются величины H , Z и Y , а для расчета калибр-скоб соответственно величины H_1 , Z_1 и Y_1 . Формулы для определения исполнительных размеров рабочих калибров приведены в табл. 10.

1.6.3 Пример расчета предельных размеров калибра и схема измерения

Поясним методику расчета исполнительных размеров гладких предельных калибров, предназначенных для контроля отверстия и вала, сопрягающихся по посадке $\varnothing 60 E9/k6$.

1. По таблицам ГОСТ 25347-2013 для номинального размера 60 мм (интервал размеров от 50 до 80 мм) определяем значения основного отверстия E ($EI = 60$ мкм) и вала k ($ei = 2$ мкм).

2. Для номинального размера 60 мм определяем допуски на изготовление отверстия и вала:

$$\text{отверстие} - IT9 = 74 \text{ мкм};$$

$$\text{вал} - IT6 = 19 \text{ мкм}$$

3. Определяем второе предельное отклонение отверстия и вала:

$$\varnothing 60 E9 (EI = 60 \text{ мкм}) ES = EI + IT9 = 60 + 74 = 134 \text{ мкм}$$

$$\varnothing 60 k6 (ei = 2 \text{ мкм}) es = ei + IT6 = 2 + 19 = 21 \text{ мкм}.$$

4. Строим схему полей допусков для посадки $\varnothing 60 E9/k6$ (рис. 23).

5. Определяем предельные размеры сопрягаемых деталей, то есть отверстия и вала:

$$D_{\min} = D + EI = 60 + 0,060 = 60,060 \text{ мм};$$

$$D_{\max} = D + ES = 60 + 0,134 = 60,134 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 60 + 0,002 = 60,002 \text{ мм};$$

$$d_{\max} = d + es = 60 + 0,021 = 60,021 \text{ мм}.$$

Т а б л и ц а 9. Допуски и отклонения калибров

Квалитеты допусков деталей	Вид допуска и отклонения калибра	Интервалы размеров, мм					Допуск на форму калибра
		Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	
		Допуски и отклонения, мкм					
6	Z	2	2	2,5	2,5	3	IT1 IT2
	Y	1,5	1,5	2	2	3	
	α, α_1	0	0	0	0	0	
	Z ₁	2,5	3	3,5	4	5	
	Y ₁	2	3	3	3	4	
	H	2	2,5	2,5	3	4	
H ₁	3	4	4	5	6		
7	Z, Z ₁	2,5	3	3,5	4	5	IT2
	Y, Y ₁	2	3	3	3	4	
	α, α_1	0	0	0	0	0	
	H, H ₁	3	4	4	5	6	
8	Z, Z ₁	4	5	6	7	8	IT2 IT3
	Y, Y ₁	4	4	5	5	6	
	α, α_1	0	0	0	0	0	
	H	3	4	4	5	6	
	H ₁	5	6	7	8	10	
9	Z, Z ₁	8	9	11	13	15	IT2 IT3
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	
	α, α_1	0	0	0	0	0	
	H	3	4	4	5	6	
	H ₁	5	6	7	8	10	
10	Z, Z ₁	8	9	11	13	15	IT2 IT3
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	
	α, α_1	0	0	0	0	0	
	H	3	4	4	5	6	
	H ₁	5	6	7	8	10	
11	Z, Z ₁	16	19	22	25	28	IT4
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	
	α, α_1	0	0	0	0	0	
	H, H ₁	8	9	11	13	15	
12	Z, Z ₁	16	19	22	25	28	IT4
	Y, Y ₁	0	0	0	0	0	
	α, α_1	0	0	0	0	0	
	H, H ₁	8	9	11	13	15	

6. По табл. 9 для номинального размера 60 мм и квалитетов 9-го (отверстие) и 6-го (вал) определяем числовые значения отклонений и допусков гладких калибров:

для калибров-пробок: $H = 5$ мкм, $Y = 0$, $Z = 13$ мкм;

для калибров-скоб: $H_1 = 5$ мкм, $Y_1 = 3$ мкм, $Z_1 = 4$ мкм.

7. Строим схему расположения полей допусков для калибров-пробок и калибров-скоб (рис. 21, 22).

8. Используя формулы табл. 10 определяем исполнительные размеры калибров-пробок и калибров-скоб.

Т а б л и ц а 10. Формулы для определения исполнительных размеров рабочих калибров

Калибр		Номинальный размер, мм			
		до 180		Св.180 до 500	
		Размер	Допуск	Размер	Допуск
Для отверстия	Проходная сторона новая	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$	$D_{\min} + Z$	$\pm \frac{H}{2}$
	Проходная сторона изношенная	$D_{\min} - Y$	-	$D_{\min} - Y + \alpha$	-
	Непроходная сторона	D_{\max}	$\pm \frac{H}{2}$	$D_{\max} - \alpha$	$\pm \frac{H}{2}$
Для вала	Проходная сторона новая	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$d_{\max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$
	Проходная сторона изношенная	$d_{\max} + Y_1$	-	$d_{\max} + Y_1 - \alpha_1$	-
	Непроходная сторона	d_{\min}	$\pm \frac{H_1}{2}$	$d_{\min} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$

П р и м е ч а н и е. При подсчете исполнительных размеров калибров (наибольших для отверстий и наименьших для валов) необходимо пользоваться следующими правилами округления:

-округление размеров рабочих калибров (наибольших для отверстий и наименьших для валов) для изделий квалитетов 15-17 следует производить до целого микрометра;
 -для изделий квалитетов 6-14 размеры калибров следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм, при этом допуск на калибры сохраняется; размеры, оканчивающиеся на 0,25 и 0,75 мкм, следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм, в сторону уменьшения допуска изделия.

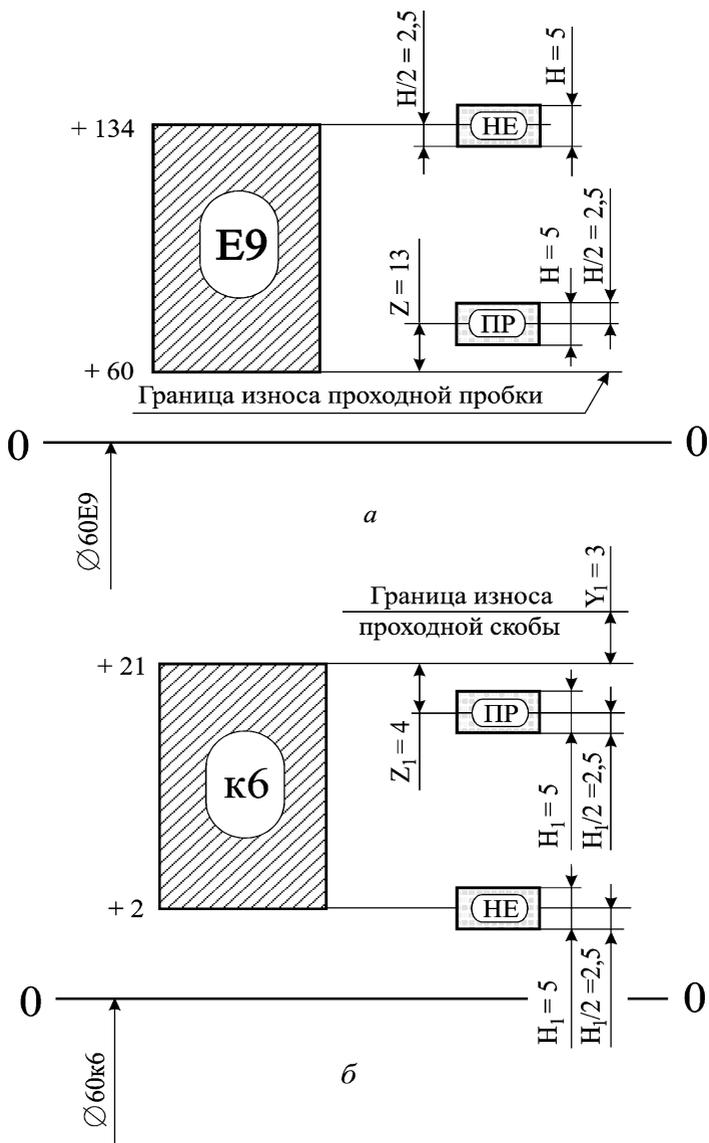


Рис. 23. Расположение полей допусков гладких калибров, предназначенных для контроля отверстия и вала, сопрягающихся по посадке $\text{Ø}60\text{E}9/\text{k}6$:
 а – для отверстия $\text{Ø}60\text{E}9$, б – $\text{Ø}60\text{k}6$

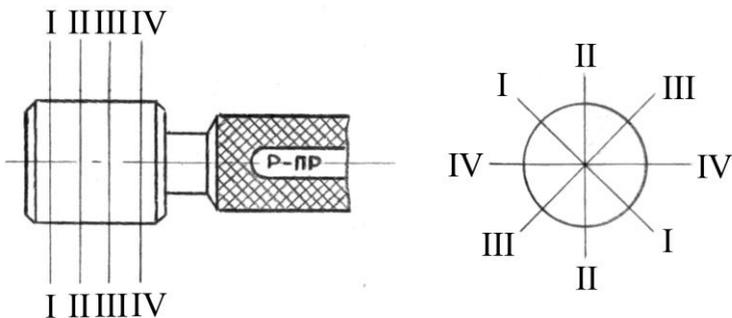


Рис. 24. Схема измерения калибр-пробки

1.6.4 Требования к оформлению отчета

Результаты показаний измерительных приборов, а также результаты измерений действительных размеров проходной и непроходной калибр-пробок записываются в отчет в виде таблиц.

На основании сравнения действительных размеров проходной и непроходной пробок с соответствующими допустимыми предельными размерами по ГОСТ 24853-81 делается вывод о годности калибра. Калибр будет годен в том случае, если его действительные размеры будут располагаться в пределах поля допуска на изготовление нового калибра. Если действительный размер пробки ПР меньше его наименьшего размера, но укладывается в поле допуска на износ, а размер пробки НЕ находится в пределах поля допуска, то калибр считается частично изношенным.

Отчет должен содержать также схему прибора, который был использован при проведении измерений, эскиз калибра-пробки с исполнительными размерами, схему расположения полей допусков калибров и расчет их исполнительных размеров.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение проходной и непроходной калибр-пробок.
2. Объяснить назначение проходной и непроходной калибр-скоб.
3. Дать характеристику относительного метода измерения.
4. Рассказать об устройстве миниметра и его настройке на измерения.
5. Рассказать об устройстве микрометра и его настройке на измерения.
6. Рассказать об устройстве оптиметра и его настройке на измерения.
7. Для чего предназначены контрольные калибры.
8. Какими свойствами должны обладать предельные калибры.
9. Какие параметры наносятся на калибры при их маркировке.
10. Какие размеры положены в основу проходных и непроходных калибров.
11. Объяснить, почему у проходных калибров, предназначенных для контроля валов и отверстий, изготовленных по 6-8 квалитетам точности, граница поля допуска на износ выходит за пределы поля допуска на изготовление детали.
12. Рассказать об особенностях расположения полей допусков гладких предельных калибров с исполнительными размерами свыше 180 мм.

2 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Резьбовые соединения, наряду с гладкими цилиндрическими, получили широкое распространение в машиностроении. Действительно, более 60% деталей современных летательных аппаратов, их двигателей, автомобилей, станков и других изделий имеют резьбу. При этом резьбовые соединения зачастую выполняют весьма ответственные функции, например, резьбовое соединение, обеспечивающее крепление диска турбины к фланцу вала турбины.

В связи с этим к резьбовым соединениям предъявляются повышенные требования по обеспечению взаимозаменяемости и точности. Однако выполнить эти требования значительно сложнее, чем для гладких цилиндрических соединений. Это вызвано тем, что резьбовые соединения являются более сложным видом соединений и характеризуются не одним, а, по крайней мере, пятью основными параметрами: наружным, средним и внутренним диаметрами, а также шагом и углом профиля резьбы.

Для решения задачи по обеспечению взаимозаменяемости резьбовых соединений необходимо располагать достаточно точными и надёжными средствами и методами контроля и измерения указанных параметров резьбы.

2.1 Профиль и основные параметры метрических резьб

Метрические крепёжные резьбы являются наиболее распространённым видом резьбовых соединений, используемых в современных изделиях машиностроения и приборостроения. В зависимости от расположения резьбовых поверхностей резьбы подразделяются на внутренние (гайки, гнёзда, муфты, и т.д.) и наружные (болты, винты, шпильки и т.д.).

На рис. 25 изображены схемы внутренней резьбы (гайки), наружной резьбы (болта) и их соединение.

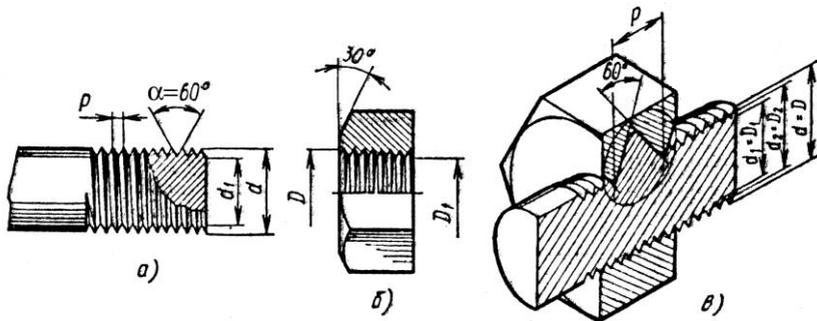


Рис. 25. Наружная (а), внутренняя (б) резьбы, соединение болта с гайкой (в)

Как видно из этого рисунка, основными параметрами метрических крепёжных резьб являются:

- наружный диаметр $D(d)$;
- внутренний диаметр $D_1(d_1)$;
- средний диаметр $D_2(d_2)$;
- шаг P ;
- угол профиля α , равный 60° .

При этом номинальные значения указанных параметров для внутренней и наружной резьб, если они образуют соединение, принимаются одинаковыми.

Наружный диаметр (D для гайки и d для болта) – это диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг впадин внутренней резьбы или выступов наружной. Размер наружного диаметра $D(d)$ является номинальным размером резьбы.

Внутренний диаметр (D_1 для гайки и d_1 для болта) – это диаметр воображаемого цилиндра, вписанного в выступы внутренней резьбы или во впадины наружной.

Средний диаметр (D_2 для гайки и d_2 для болта) – это диаметр воображаемого цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы таким образом, что ширина впадины резьбы, измеренная вдоль этой образующей, равна ширине витка.

Шаг резьбы P – это расстояние между соседними одноимёнными боковыми сторонами витков резьбы по линии, параллельной её оси.

Угол профиля $\alpha=60^\circ$ – это угол между смежными боковыми сторонами профиля резьбы в осевой плоскости. Для резьб с симметричным профилем, к которым относятся метрические крепёжные резьбы, нормируют и измеряют половину угла профиля $\alpha/2=30^\circ$. Это позволяет выявить возможную несимметричность профиля из-за неточной установки инструмента и детали при нарезании резьб.

Номинальные значения наружного, среднего и внутреннего диаметров, а также шага для наиболее широко используемых резьб приведены в табл.11 (см. стр. 79).

Профиль метрической крепёжной резьбы для диаметров от 0,25 мм до 600 мм регламентирует ГОСТ 9150-2002. Согласно этому стандарту профиль метрической крепёжной резьбы (рис. 26) представляет собой равносторонний треугольник с плоскими срезами, выполненными на расстояниях $H/8$ и $H/4$ (соответственно по наружному и внутреннему диаметрам) от вершин исходного профиля, где H – высота исходного профиля.

Высота исходного профиля, как высота равностороннего треугольника, равна $H \approx 0,866P$. Рабочая высота профиля $H_1 \approx 0,541P$.

Форма впадины наружной резьбы (болта) может быть плоскосрезанной, либо закруглённой с номинальным радиусом закругления $R \approx 0,144P$. Форма впадин оказывает существенное влияние на сопротивление усталости и циклическую долговечность болтов, винтов и шпилек. При наличии закруглений уменьшается концентрация напряжений, а следовательно, повышается сопротивление усталости и циклическая долговечность резьбовых деталей.

Форма впадин внутренней резьбы (гайки) не регламентируется. Как правило, она также имеет закругление, что связано с причинами технологического характера (износом режущих лезвий инструментов или их специальной заточкой).

Метрические крепёжные резьбы бывают двух типов: с крупным шагом и с мелким шагом. У резьб с крупным шагом каждому наружному диаметру соответствует одно значение шага, определяемое зависимостью $D(d) \approx 6P_{1,3}$. У резьб с мелким шагом одному и тому же

наружному диаметру соответствуют разные шаги. Так, например, при наружном диаметре резьбы $D(d)=20$ мм крупный шаг составляет $P=2,5$ мм. У резьб с мелким шагом при том же диаметре значения шагов могут быть равны: 2; 1,5; 1; 0,75 и 0,5 мм.

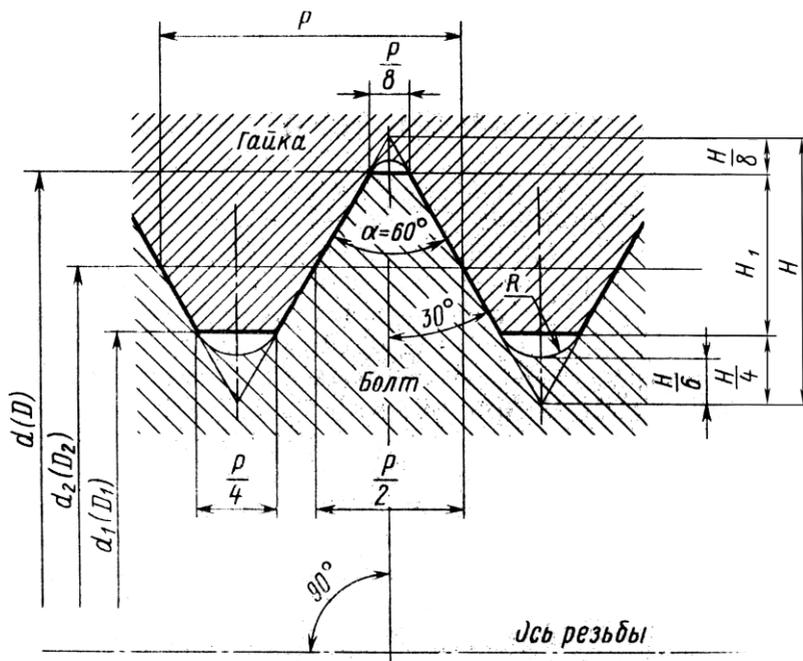


Рис. 26. Профиль и параметры метрической крепёжной резьбы

На чертежах метрические крепёжные резьбы обозначаются следующим образом:

- M14 – резьба с наружным диаметром $D(d)=14$ мм и крупным шагом $P=2$ мм;
- M14x1,5 – резьба с мелким шагом;
- M14x1,5 LH – резьба с мелким шагом, левая.

2.2 Измерение и контроль основных параметров резьбы

2.2.1 Комплексный и дифференцированный методы контроля резьб

Для контроля крепёжных цилиндрических резьб, образующих посадки с зазором (обычных болтов, винтов, гаек), чаще всего используют комплексный метод, при котором одновременно проверяются все параметры резьбы. Этот контроль осуществляется с помощью предельных резьбовых калибров: резьбовых пробок для контроля внутренних резьб (рис. 27а) и резьбовых колец или скоб для наружных резьб (рис. 27б, в).

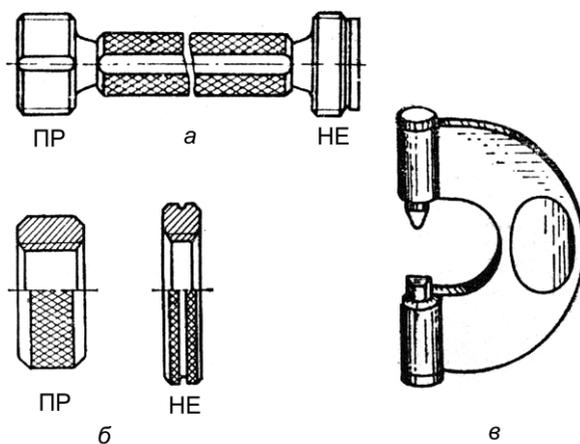


Рис. 27. Предельные резьбовые калибры:

а – двусторонняя пробка; б – резьбовые кольца;

в – резьбовая скоба с конической и призматической вставками

О годности резьбовой детали судят по тому, как она свинчивается с калибрами. Если деталь свинчивается с проходным калибром, но не свинчивается с непроходным, то она признаётся годной. Детали, которые не свинчиваются с проходным калибром или свинчиваются с непроходным, считаются бракованными.

Указанный метод контроля отличается простотой, не требует высокой квалификации контролёра и является достаточно производительным. Однако он не позволяет произвести оценку погрешностей отдельных параметров резьбы: среднего диаметра, шага, угла профиля и др.

Проверка внутреннего диаметра гайки D_1 и наружного диаметра болта d при комплексном методе контроля осуществляется соответственно гладкими предельными пробками и скобами.

В производстве точных резьб: ходовых винтов, резьбовых шпилек, резьбовых калибров, метчиков, – используют дифференцированный метод контроля, при котором контролируется (измеряется) каждый отдельный параметр резьбы.

Наиболее широкое применение для измерения параметров резьбы получили инструментальные микроскопы: малые (ММИ), большие (БМИ) и универсальные (УИМ).

Ниже рассмотрена конструкция большого инструментального микроскопа типа БМИ и изложена методика измерения отдельных параметров резьбы.

2.2.2 Конструкция большого инструментального микроскопа (БМИ)

Большой инструментальный микроскоп (рис. 28) имеет массивное основание 1, на котором расположен стол 2. В центре верхней площадки стола установлено стекло 17, что, благодаря наличию осветительного устройства 3, позволяет получать чёткие контурные изображения измеряемых деталей, например, изображение профиля измеряемой резьбы (рис. 34).

Измеряемая деталь либо непосредственно, либо с помощью различных приспособлений, например, рамки с центрами 13, устанавливается на столе и может перемещаться вместе с ним в продольном и поперечном направлениях с помощью микрометров продольного хода 14 и поперечного хода 16.

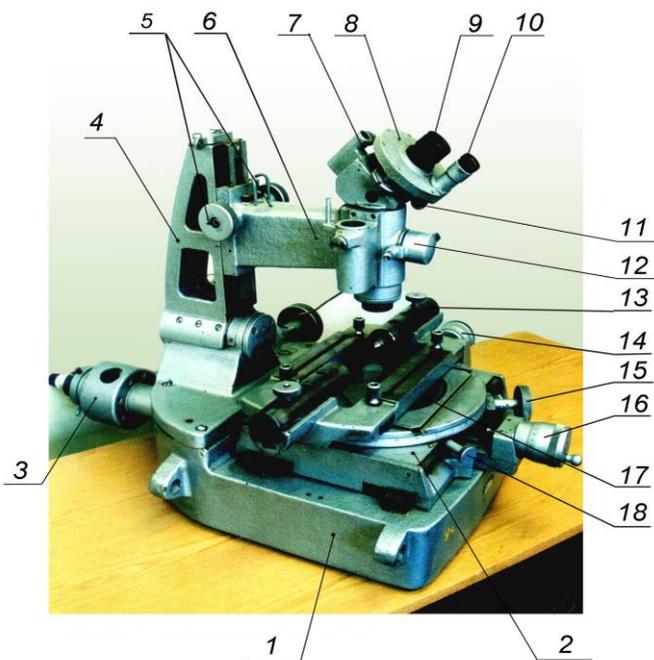


Рис. 28. Большой инструментальный микроскоп БМИ

Таким образом, перемещая стол с измеряемой деталью в продольном или в поперечном направлениях и производя отсчёт по шкалам соответствующих микрометров (рис. 29), можно измерять линейные размеры деталей, например, шаг резьбы и её диаметры. При этом цена одного деления шкалы 1, нанесённой на стебле каждого микрометра, составляет 1 мм, а шкалы 2, нанесенной на барабане, – 0,005 мм (рис. 29).

Отсчёт по шкалам микрометров осуществляется следующим образом. По положению торца барабана относительно шкалы 1, нанесённой на стебле микрометра, определяется число целых миллиметров. Число десятых, сотых и половинных долей одной сотой миллиметра устанавливается по шкале 2, нанесённой на барабане микрометра. Примеры отсчетов по шкалам микрометра приведены на рис. 29.

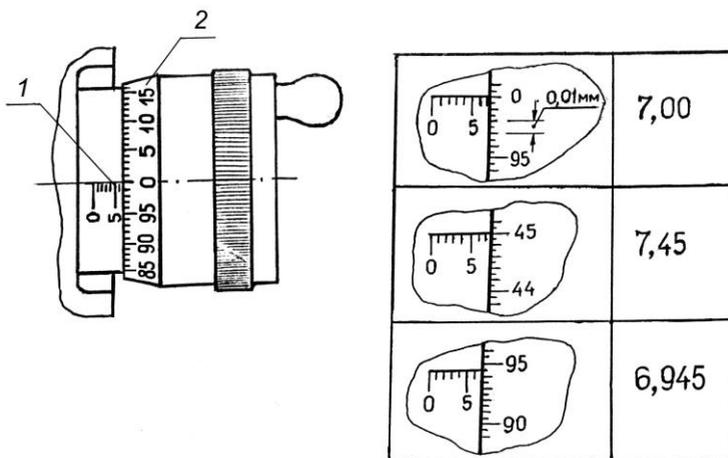


Рис. 29. Шкалы микрометров и примеры отсчётов по ним

Следует отметить, что диапазон показаний по шкалам микрометров невелик: от 0 до 25 мм. Для того чтобы расширить диапазон измерений, предусмотрена возможность дополнительного перемещения стола как в продольном, так и в поперечном направлениях. Устанавливая между измерительным наконечником микрометра и соответствующим упором на столе блок концевых мер длины (КМД), можно расширить диапазон измерений: в продольном направлении до 150 мм, в поперечном – до 50 мм. В результате часть необходимого измерительного перемещения стола с деталью осуществляется за счёт установки блока КМД, а остальная часть – за счёт поворота барабана соответствующего микрометра.

Кроме перемещений в продольном и поперечном направлениях, стол микроскопа может поворачиваться вокруг вертикальной оси с помощью ручки 15 (рис. 28). Отсчёт угла поворота производится по градусной шкале, нанесённой на цилиндрическом пояске стола, и по шкале нониуса с точностью 3'.

Важным конструктивным элементом микроскопа является его оптическая головка, которая закреплена в кронштейне 6 и вместе с ним может перемещаться относительно колонки 4 с помощью спаренных ручек 5, расположенных справа и слева от кронштейна. Это переме-

щение используется для наводки на резкость изображения измеряемой детали.

В нижней части оптической головки имеется объектив, который обращён к измеряемой детали и позволяет получить её увеличенное изображение. В верхней части оптической головки располагается штриховая окулярная головка 8, которая имеет два окуляра: основной 9 (через него рассматривается увеличенное изображение измеряемой детали) и окуляр угломера 10. В корпусе штриховой окулярной головки располагается стеклянный диск, на котором в поле зрения основного окуляра (рис. 30а) нанесены две взаимно перпендикулярные пунктирные линии, две сплошные линии с углом между ними, равным углу профиля метрической резьбы (т.е. 60°), и дополнительные вертикальные пунктирные линии. На этом же диске, по его периферии, нанесена угловая шкала с ценой деления 1° . Эта шкала попадает в поле зрения окуляра угломера (рис. 30б). В поле зрения данного окуляра видна также расположенная отдельно от диска неподвижная минутная шкала.

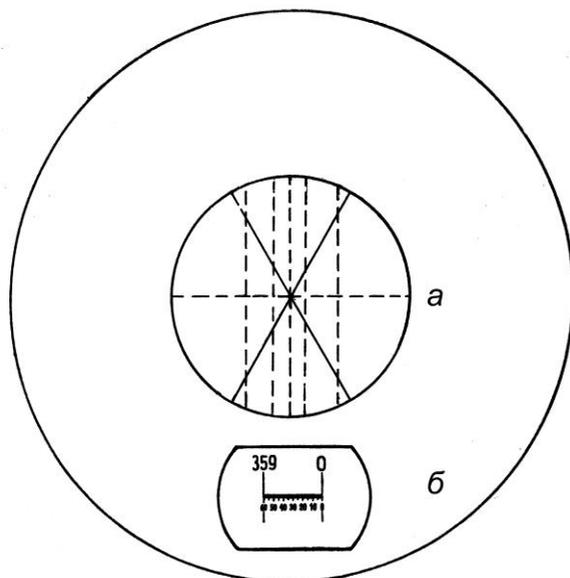


Рис. 30. Поля зрения: *a* – основного окуляра; *б* – окуляра угломера

Диск вместе с нанесённой на нём штриховой сеткой и градусной шкалой может поворачиваться относительно перекрестия штриховой сетки с помощью ручки 7 (рис. 28).

При повороте этой ручки, а следовательно, стеклянного диска будут поворачиваться линии штриховой сетки и будет изменяться относительное расположение штрихов градусной и минутной шкал. Это позволяет осуществлять измерение угловых размеров деталей, например, угла профиля резьбы. При этом штрих градусной шкалы, который пересекает минутную шкалу, определяет число градусов (крупные цифры), а его положение относительно минутной шкалы – число минут. Например, для положения, представленного на рис. 31, отсчёт по угловым шкалам будет составлять $29^{\circ}43'$.

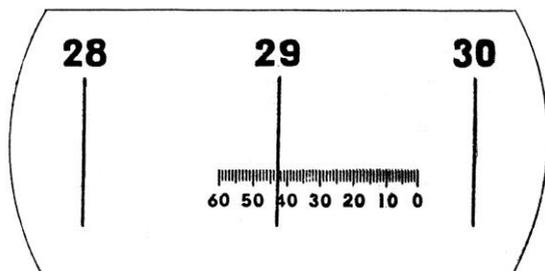


Рис. 31. Пример отсчёта по угловым шкалам

Для освещения угловых шкал используются специальное осветительное устройство 12 (рис. 28), устанавливаемое на кронштейне, и зеркальце, которое направляет свет в нижнее отверстие штриховой окулярной головки. Резкость изображения угловых шкал и линий штриховой сетки достигается поворотом верхних колец соответствующих окуляров.

2.3 Лабораторная работа 3. Измерение параметров резьбы

Цель работы: знакомство с положениями стандартов, определяющих основные параметры и профиль метрических крепёжных резьб; изучение методов и средств измерения и контроля параметров резьбы; выполнение дифференцированных измерений различных параметров резьбы, например, резьбы метчиков с помощью инструментального микроскопа; сопоставление результатов измерений с предельно допустимыми значениями, установленными государственным стандартом, и аттестация метчиков.

2.3.1 Настройка микроскопа

Прежде чем приступить к измерению параметров резьбы, необходимо произвести настройку микроскопа. Цель этой настройки состоит в том, чтобы обеспечить параллельность горизонтальной пунктирной линии в поле зрения основного окуляра (рис. 30а) при нулевом отсчёте по угловым шкалам (рис. 30б), оси центров (оси измеряемой резьбы) и направления продольного хода стола. В противном случае при измерениях параметров резьбы возникнут значительные систематические погрешности.

Для осуществления настройки диск штриховой окулярной головки, а следовательно, штриховую сетку в поле зрения основного окуляра поворотом ручки 7 (рис. 28) устанавливают так, чтобы нулевые штрихи градусной и минутной шкал совпадали (рис. 30б). Затем в центрах приспособления, закреплённого на столе микроскопа, устанавливают точно изготовленный цилиндрический валик. Перемещая стол в поперечном направлении, вводят одну из образующих этого валика в поле зрения основного окуляра, добиваются резкости её изображения и пытаются совместить горизонтальную пунктирную линию с изображением образующей. Если такое совмещение оказалось возможным, то горизонтальная пунктирная линия и ось центров

параллельны. Если же нет (рис. 32а)*, то, поворачивая стол микроскопа с помощью ручки 15 (рис. 28), добиваются положения, при котором удалось бы совместить горизонтальную пунктирную линию с изображением образующей (рис. 32б).

Для того чтобы проверить, будут ли параллельны ось центров и направление продольного хода стола, необходимо быстро переместить стол в продольном направлении. Если при таком перемещении изображение образующей валика не смещается относительно горизонтальной пунктирной линии (сохраняется положение, представленное на рис. 32б), то ось центров и направление продольного хода стола параллельны. Если же перемещение стола сопровождается смещением изображения образующей относительно горизонтальной пунктирной линии (рис. 32в), то вращая рукоятки 15 и 16 (рис. 28), исправляют расположение круглого столика так, чтобы при повторном опробовании, указанное выше условие было выполнено. В таком положении стол микроскопа должен быть зафиксирован винтом 18.

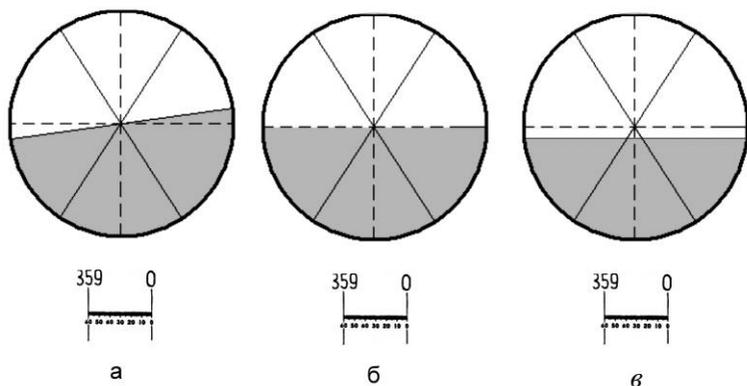


Рис. 32. Схема настройки микроскопа по валику:
а – горизонтальная пунктирная линия и ось центров непараллельны;
б – после настройки: горизонтальная пунктирная линия и ось центров параллельны

* На рис. 32 и в дальнейшем поле зрения основного окуляра изображено упрощенно, без дополнительных вертикальных пунктирных линий.

После настройки микроскопа валик снимается и вместо него в центрах устанавливается метчик. При этом соответствующим проворачиванием метчика в центрах добиваются такого положения, чтобы вершины профиля резьбы двух противоположных перьев метчика располагались в горизонтальной плоскости, проходящей через ось центров (рис. 33а).

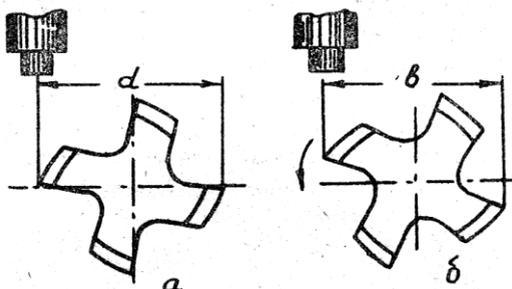


Рис. 33. Положение метчика в центрах: *a* – правильное; *б* – неправильное

В противном случае, как видно из рис. 33б, будут измеряться не диаметры резьбы, а некоторые хорды, например, вместо наружного диаметра d , хорда b .

Для того чтобы правильно установить метчик в центрах, поступают следующим образом. Сначала метчик в требуемое положение устанавливают приблизительно и, перемещая кронштейн $б$ (рис. 28) относительно колонки, добиваются чёткого изображения профиля резьбы какого-либо пера. Затем с помощью микрометра поперечного хода стола подводят метчик так, чтобы вершины резьбы совместились с горизонтальной пунктирной линией (рис. 34а). Из этого положения метчик поворачивают в центрах на небольшой угол в том или ином направлении. Если при таком повороте вершины резьбы будут выходить за пределы этой линии, например, будут смещаться выше нее (при этом изображение профиля резьбы будет становиться нерезким), то после повторной наводки на резкость (рис. 34б), метчик перемещают ещё раз до совмещения вершин резьбы с горизонтальной пунктирной линией (рис. 34в).

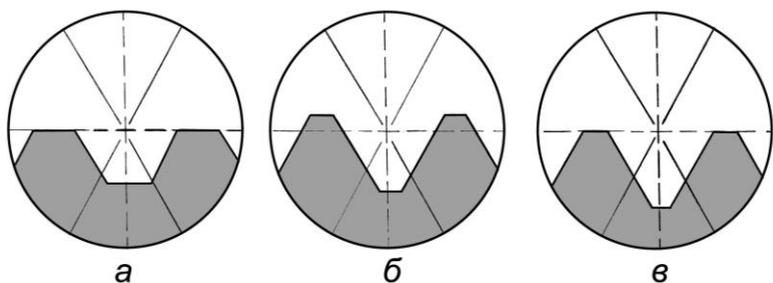


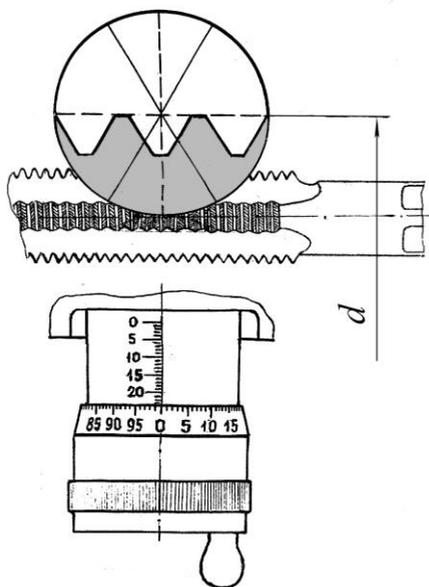
Рис. 34. Схемы, поясняющие методику установки метчика в центрах:
a – предварительная установка; *б* – после поворота метчика в центрах;
в – окончательное положение метчика в центрах

И так до тех пор, пока поворот метчика не будет приводить к смещению вершин резьбы за пределы горизонтальной пунктирной линии. В таком положении метчик оставляют и приступают к измерению диаметров резьбы.

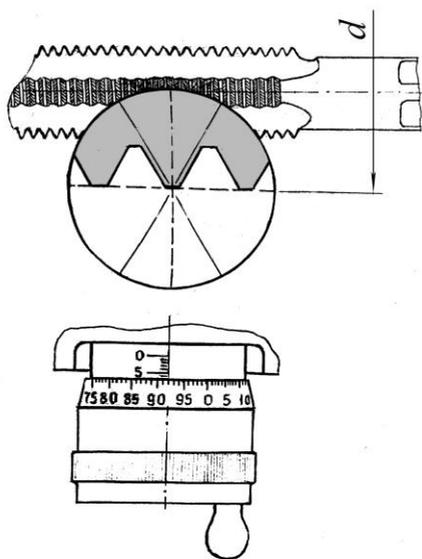
2.3.2 Методика измерения параметров резьбы метчиков

При измерении *наружного диаметра* d (рис. 35) стол вместе с метчиком перемещают в поперечном направлении так, чтобы горизонтальная пунктирная линия в поле зрения основного окуляра совместилась с линией выступов резьбы какого-либо пера (положение I), и производят первый отсчёт по шкалам микрометра поперечного хода стола. Затем метчик перемещают так, чтобы эта же линия совместилась с линией выступов резьбы на противоположном пере метчика (положение II), и производят второй отсчёт по шкалам микрометра. Разность отсчётов даст действительное значение наружного диаметра резьбы. Для примера, представленного на рис. 35, первый отсчёт составит 23,0 мм, второй 6,92 мм, наружный диаметр метчика 16,08 мм.

Внутренний диаметр резьбы d_1 измеряется аналогичным образом, с той лишь разницей, что горизонтальная пунктирная линия совмещается с линией впадин резьбы для одного пера и для противоположного (рис. 36).



I



II

Рис. 35. Схема измерения наружного диаметра

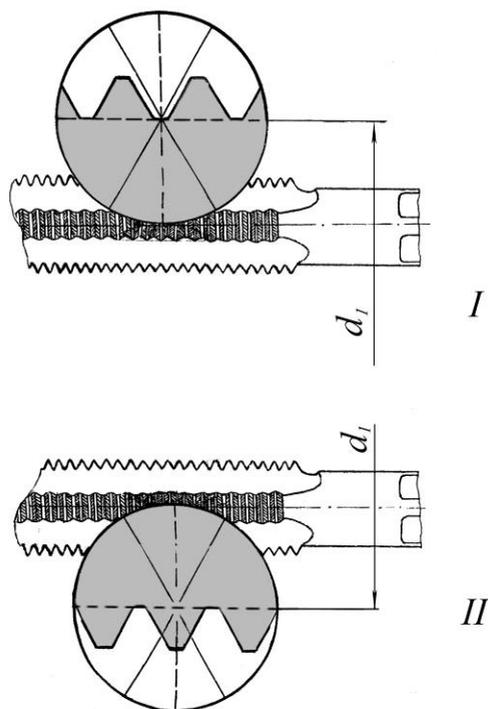


Рис. 36. Схема измерения внутреннего диаметра метчика

Величины отсчётов по шкалам микрометра и значения диаметров d и d_1 заносятся в отчёт о лабораторной работе.

При измерении *среднего диаметра резьбы* d_2 невозможно привести метчик в положение, при котором горизонтальная пунктирная линия точно совпадала бы с образующей среднего цилиндра. Поэтому фактически измеряют расстояние между параллельными сторонами двух противоположащих профилей резьбы, которое будет одинаковым в любом сечении, перпендикулярном оси резьбы, в том числе и в сечении, проходящем через точки 1 и 2 пересечения образующих среднего цилиндра с боковыми сторонами профиля резьбы (рис. 37). Именно в этом сечении, как видно из рис. 37, и должен бы измеряться средний диаметр d_2 .

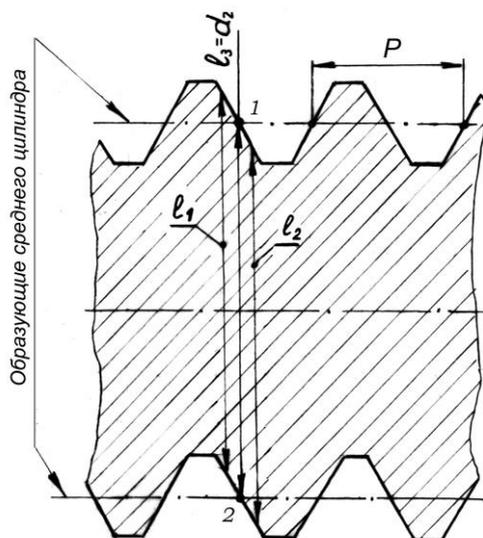


Рис. 37. Средний диаметр как расстояние между параллельными сторонами двух противоположащих профилей резьбы ($l_1 = l_2 = l_3 = d_2$)

Таким образом, расстояние между параллельными сторонами двух противоположащих профилей резьбы, измеренное в любом сечении, перпендикулярном оси резьбы, будет определять величину среднего диаметра.

Для измерения этого расстояния метчик перемещают в поперечном направлении так, чтобы наклонная сплошная линия в поле зрения основного окуляра совместилась с боковой стороной профиля. При этом перекрестие штриховой сетки лишь приблизительно должно находиться в средней части профиля резьбы (рис. 38, положение I). Производят первый отсчёт по шкалам микрометра поперечного хода стола.

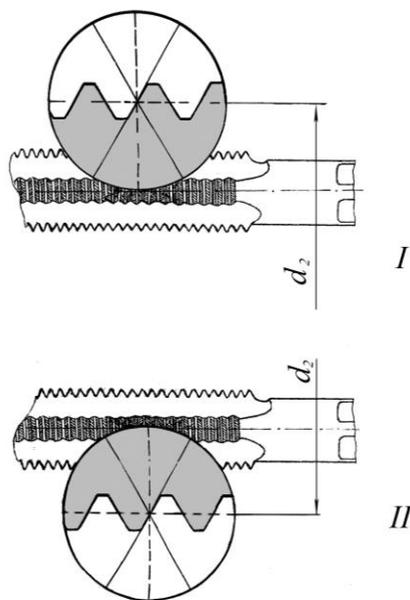


Рис. 38. Измерение среднего диаметра

Затем метчик перемещают таким образом, чтобы эта же наклонная сплошная линия совместилась с параллельной стороной противоположного профиля резьбы (рис. 38, положение II), и производят второй отсчёт по шкалам микрометра. Разность отсчётов определит действительное значение среднего диаметра резьбы.

Если при настройке микроскопа была допущена погрешность, и ось измеряемой резьбы оказывается непараллельной направлению продольного хода стола, то при измерении среднего диаметра возникнет систематическая погрешность. Для исключения этой погрешности можно использовать так называемый метод компенсации по знаку. Сущность этого метода заключается в том, что расстояние между параллельными сторонами двух противоположных профилей резьбы измеряют дважды (рис. 39).

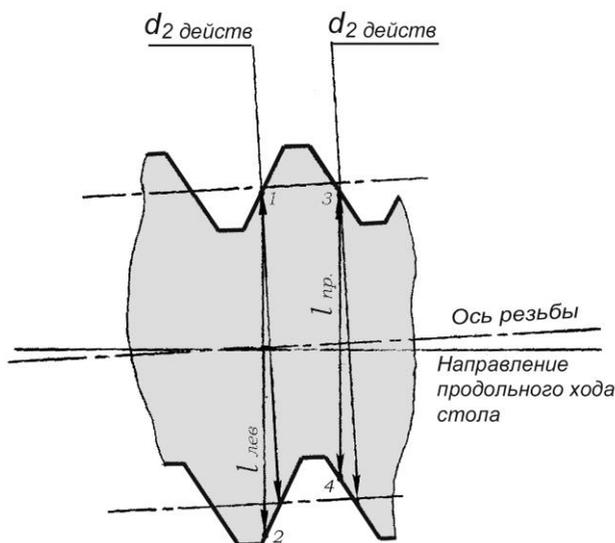


Рис. 39. Влияние непараллельности оси резьбы и направления продольного хода стола на результаты измерения среднего диаметра

Например, один раз – по левым сторонам профилей витка, расположенного выше оси резьбы, и противоположащей впадины – $l_{лев}$ (точки 1 и 2), а другой раз – по правым сторонам – $l_{пр}$ (точки 3 и 4). Как видно из рис. 39, значение $l_{лев}$ окажется больше, а $l_{пр}$ меньше действительной величины среднего диаметра резьбы. А именно:

$$l_{лев} = d_{2действ} + \Delta_{//}; \quad l_{пр} = d_{2действ} - \Delta_{//},$$

где $\Delta_{//}$ – систематическая погрешность, вызванная непараллельностью оси резьбы и направления продольного хода стола.

При нахождении среднего арифметического значения систематические погрешности, как противоположные по знаку, взаимно уничтожаются и действительное значение среднего диаметра будет равно:

$$d_{2действ} = (l_{лев} + l_{пр}) / 2.$$

Результаты измерений действительных значений наружного, внутреннего и среднего диаметров резьбы, а также их номинальные величины, найденные по табл. 11 записываются.

Т а б л и ц а 11. Номинальные размеры резьб

Наружный диаметр D(d)	Шаг резьбы P	Средний диаметр D ₂ (d ₂)	Внутренний диаметр D ₁ (d ₁)
6	1	5.350	4.918
7	1	6.350	5.918
8	<u>1.25</u>	7.350	6.918
	1	7.350	6.918
9	<u>1.25</u>	8.350	7.918
	1	8.350	7.918
10	<u>1.5</u>	9.026	8.376
	1.25	9.188	8.647
	1	9.350	8.918
11	<u>1.5</u>	10.026	9.376
	1	10.350	9.918
12	<u>1.75</u>	10.863	10.106
	1.5	11.026	10.376
	1.25	11.188	10.647
	1	11.350	10.918
14	<u>2</u>	12.701	11.835
	1.5	13.026	12.376
	1.25	13.188	12.647
	1	13.350	12.918
16	2	14.701	13.835
	1.5	15.026	14.376
	1	15.350	14.918
18	<u>2.5</u>	16.376	15.294
	2	16.701	15.835
	1.5	17.026	16.376
	1	17.350	16.918
20	<u>2.5</u>	18.376	17.294
	2	18.701	17.835
	1.5	19.026	18.376
	1	19.350	18.918
22	<u>2.5</u>	20.376	19.294
	2	20.701	19.835
	1.5	21.026	20.376
	1	21.350	20.918

Наружный диаметр D(d)	Шаг резьбы P	Средний диаметр D ₂ (d ₂)	Внутренний диаметр D ₁ (d ₁)
24	<u>3</u>	22.051	20.752
	2	20.701	19.835
	1.5	23.026	22.376
	1	23.350	22.918
27	<u>3</u>	25.051	23.752
	2	25.701	24.835
	1.5	26.026	25.376
	1	26.350	25.918
30	<u>3.5</u>	27.727	26.211
	3	28.051	26.752
	2	28.701	27.835
	1.5	29.026	28.376
	1	29.350	28.918
33	<u>3.5</u>	30.727	29.211
	3	31.051	29.752
	2	31.701	30.835
	1.5	32.026	31.376
	-	32.350	31.918
36	<u>4</u>	33.402	31.670
	3	34.051	32.752
	2	34.701	33.835
	1.5	35.026	34.376
	1	35.350	34.918

Примечание. Подчеркнутые величины шагов соответствуют резьбам с крупным шагом.

Вычитая из действительных значений номинальные, находят действительные отклонения диаметров резьбы метчиков. Эти отклонения, выраженные в микрометрах, с учётом их знака также должны быть указаны в таблице отчёта.

Шаг резьбы метчика P принято измерять на длине участка резьбы L, которая равна длине определенного числа шагов n, установленного стандартом (ГОСТ 16925-93): $L = P \cdot n$.

При шаге резьбы от 0,70 до 1,25 мм длина измерения принимается равной длине 9-ти шагов, а при шаге резьбы 1,5 мм и более – длине

7 шагов. Например, при шаге резьбы $P = 1,5$ мм – номинальное значение длины измерения составит $L_H = 1,5 \cdot 7 = 10,5$ мм. Найденное номинальное значение длины L_H записывается.

Действительное значение L_D измеряется следующим образом. За счёт перемещения стола в продольном и поперечном направлениях добиваются такого же положения метчика, как при измерении среднего диаметра (рис. 40, положение I), и производят первый отсчёт по шкалам микрометра продольного хода стола (например, как показано на рисунке, 23,00 мм). Из этого исходного положения метчик перемещают в продольном направлении на n шагов, так чтобы наклонная сплошная линия в поле зрения основного окуляра совместилась с параллельной стороной профиля n -го витка (для рассматриваемого примера – 7-го).

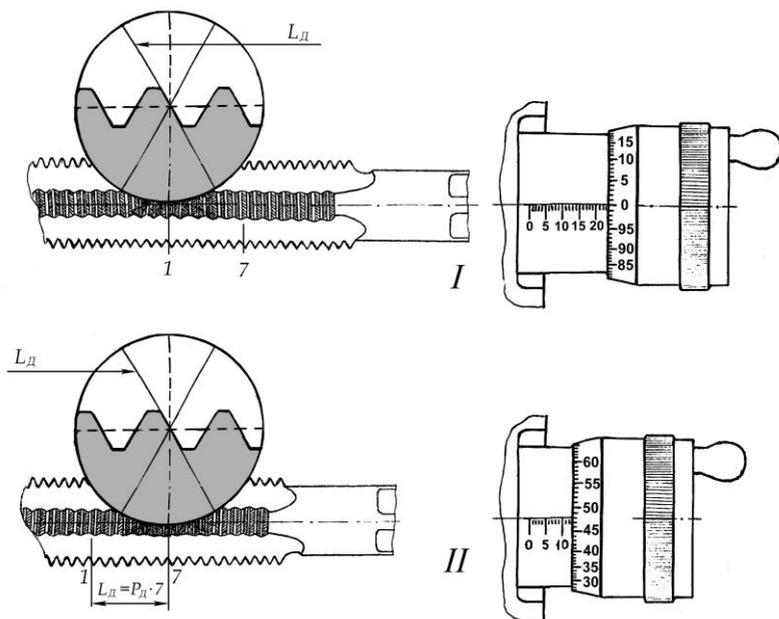


Рис.40. Схема измерения действительного значения длины участка резьбы для определения накопленной погрешности шага ΔP

Производят второй отсчёт по шкалам микрометра продольного хода стола (например, как показано на рис. 40, положение II – 12,48 мм). Разность отсчётов будет соответствовать значению L_D .

Сравнивая действительное значение с номинальным, находят накопленную погрешность шага: $\Delta P = L_D - L_H$. Для примера, представленного на рис. 40,

$$L_D = 23,00 - 12,48 = 10,52 \text{ мм},$$

$$\text{а } \Delta P = 10,52 - 10,5 = 0,02 \text{ мм} = + 20 \text{ мкм}.$$

Для исключения указанной выше систематической погрешности, вызванной непараллельностью оси резьбы и направления продольного хода стола, длину L_D целесообразно измерить дважды (рис. 41): по правым сторонам профилей (точки 1 и 2) и по левым сторонам (точки 3 и 4).

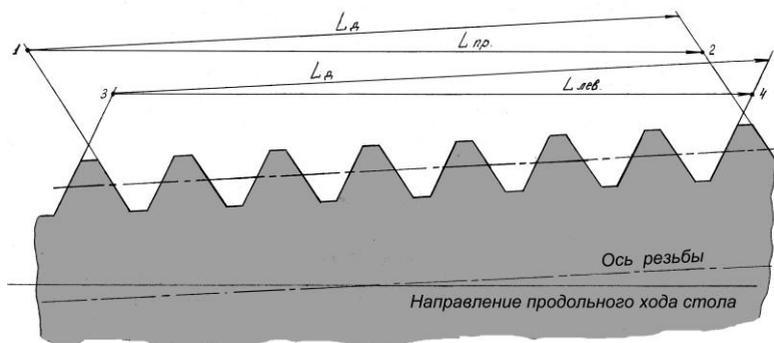


Рис.41. Схема измерений L_D по правым и левым сторонам профиля для исключения систематической погрешности, вызванной непараллельностью оси резьбы и направления продольного хода стола

Окончательный результат находят как среднее арифметическое полученных значений:

$$L_D = (L_{D.пp} + L_{D.лев}) / 2.$$

Величины отсчётов по шкалам микрометра и полученные результаты записываются. Также записывается накопленная погрешность шага ΔP , выраженная в микрометрах, и с соответствующим знаком.

Измерение половины угла профиля осуществляют следующим образом.

Прежде всего, поворотом ручки 7 (рис. 28) добиваются такого положения, чтобы «нулевые» штрихи градусной и минутной шкал в поле зрения окуляра угломера совпадали. Метчик перемещают так, чтобы перекрестие штриховой сетки в поле зрения основного окуляра совпало с какой-либо точкой на боковой (например, правой) стороне профиля витка резьбы (рис. 42, положение I). Затем с помощью ручки 7 поворачивают штриховую сетку таким образом, чтобы вертикальная пунктирная линия совместилась с этой стороной профиля (положение II), и производят отсчёт по шкалам угломера. Разность отсчётов определит величину правой половины угла профиля. Аналогичным образом измеряют левую половину угла профиля (рис. 42, положение III). При этом в зависимости от величины конечного отсчёта в качестве начального следует принимать 0^0 , либо 360^0 .

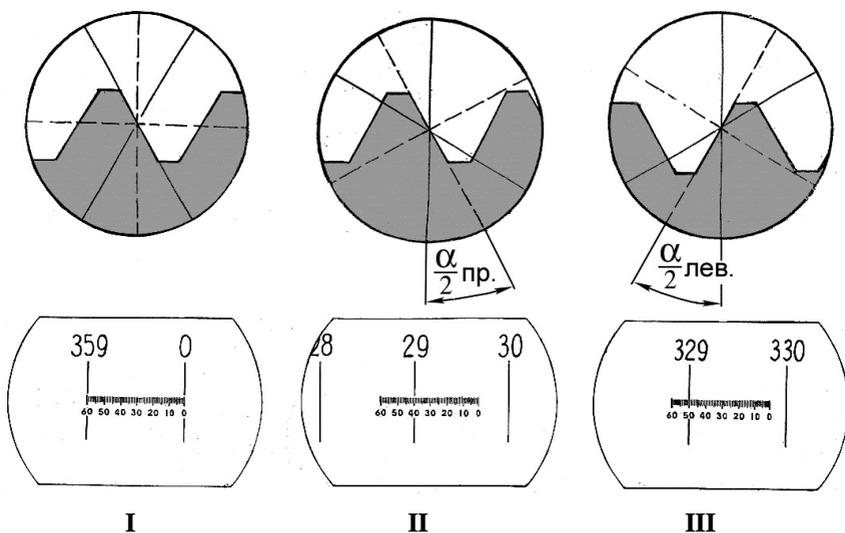


Рис.42. Схема измерения половины угла профиля резьбы

Для примера, представленного на рис. 42, половины угла профиля резьбы будут равны:

$$\left(\frac{\alpha}{2}\right)_{ПР} = 29^{\circ}40' - 0 = 29^{\circ}40'.$$

$$\left(\frac{\alpha}{2}\right)_{ЛЕВ} = 360^{\circ} - 329^{\circ}50' = 30^{\circ}10'.$$

Чтобы исключить систематические погрешности, вызванные непараллельностью оси резьбы и направления продольного хода стола, измерения следует производить по двум диаметрально противоположным сторонам профиля (рис. 43, положения I и II для левой половины угла профиля, положения III и IV для правой половины).

Действительные значения левой и правой половин угла профиля подсчитывается по формулам:

$$\left(\frac{\alpha}{2}\right)_{ЛЕВ} = \frac{\left(\frac{\alpha}{2}\right)'_{ЛЕВ} + \left(\frac{\alpha}{2}\right)''_{ЛЕВ}}{2};$$

$$\left(\frac{\alpha}{2}\right)_{ПР} = \frac{\left(\frac{\alpha}{2}\right)'_{ПР} + \left(\frac{\alpha}{2}\right)''_{ПР}}{2}.$$

Отсчёты по угловым шкалам и результаты измерений записываются. Сравнивая полученные результаты с номинальным значением $\alpha/2 = 30^{\circ}$, находят действительные отклонения левой и правой половин угла профиля резьбы метчика. Величины этих отклонений, выраженные в угловых минутах, с учётом их знака также записываются.

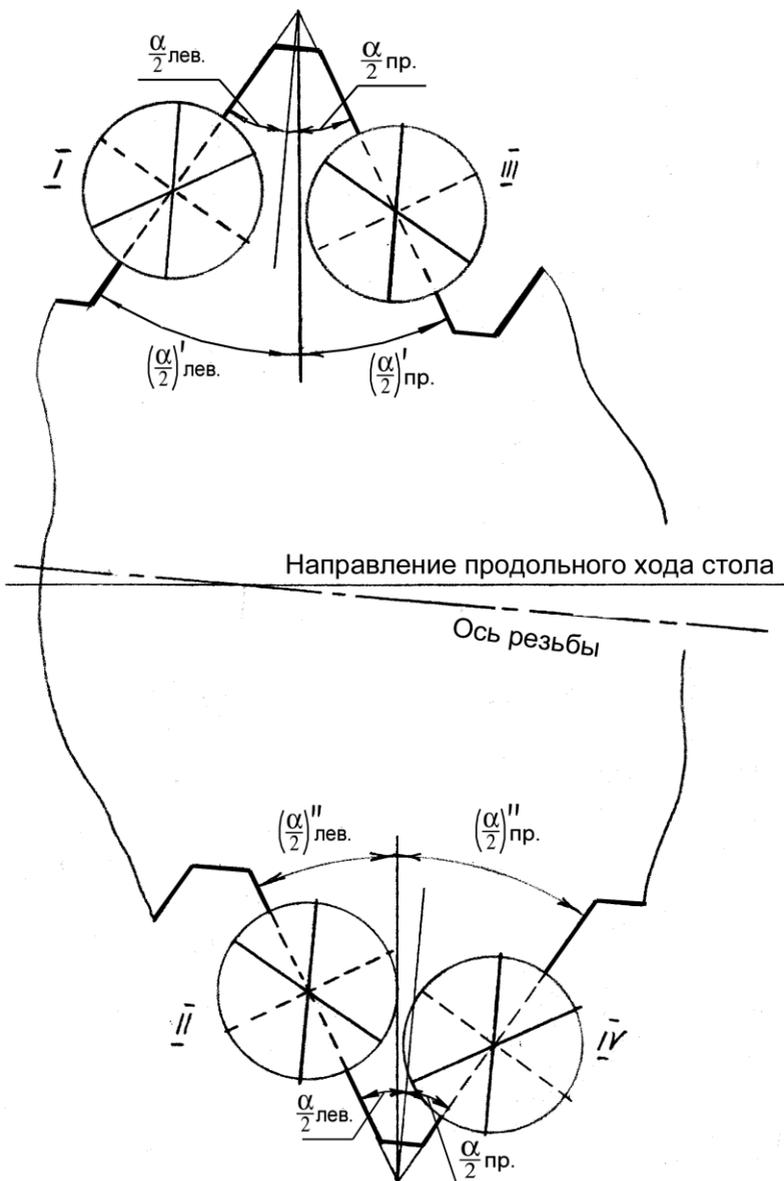


Рис.43. Схемы измерения левой (положения I и II) и правой (положения III и IV) половин угла профиля резьбы

2.3.3 Сопоставление результатов измерений с предельно допустимыми значениями параметров резьбы и аттестация метчиков

Действительные отклонения параметров резьбы метчиков сопоставляются с предельными отклонениями, установленными ГОСТ 16925-93, которые также записываются. Предельные отклонения параметров резьбы метчиков приведены в табл. 12.

Т а б л и ц а 12. Предельные отклонения параметров резьбы метчиков для нарезания метрических резьб

Номинальный диаметр резьбы, мм	Шаг резьбы P, мм	На- руж- ный диа- метр d	Средний диаметр d_2								Шаг резьбы P			Поло- вина угла профи- ля $\frac{\alpha}{2}$	
			Предельные отклонения, мкм												
			Ниж- нее JS	1 кл.		2 кл.		3 кл.		4 кл.		Длина изме- рения в ко- ли- честве шагов	1,2,3 кл.		4 кл.
				нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее				
Св. 5,6 до 11,2	1,00	+47	+12	+35	+35	+59	+59	+83	+35	+83	9	±8	±35	±25°	
	1,25	+50	+13	+38	+38	+63	+63	+88	+38	+88					
	1,50	+56	+14	+42	+42	+70	+70	+98	+42	+98	7		±45		
Св. 11,2 до 22,4	1,00	+50	+13	+38	+63	+63	+63	+88	+38	+88	9	±8	±35	±20°	
	1,25	+56	+14	+42	+42	+70	+70	+98	+42	+98					
	1,50	+60	+15	+45	+45	+75	+75	+105	+45	+105					
	2,00	+68	+17	+51	+51	+85	+85	+119	+51	+119					
	2,50	+72	+18	+54	+54	+90	+90	+126	+54	+126	7	±10	±45		
Св. 22,4 до 45	1,00	+53	+13	+40	+40	+66	+66	+92	+40	+92	9	±8	±35	±25°	
	1,50	+64	+16	+48	+48	+80	+80	+112	+48	+112					
	2,00	+72	+18	+54	+54	+90	+90	+126	+54	+126					
	3,00	+85	+21	+64	+64	+106	+106	+148	+64	+148	7	±10	±45		
												±12			

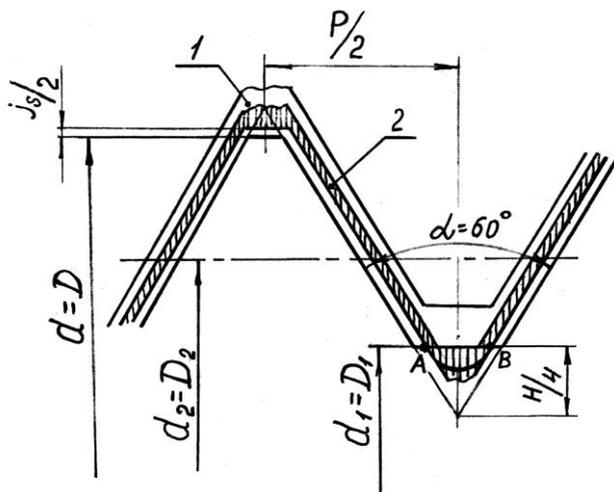


Рис. 44. Схемы полей допусков нарезаемой резьбы и резьбы метчика:

1 – поле допуска нарезаемой резьбы; 2 – поле допуска метчика

Как видно из этой таблицы и схемы полей допусков нарезаемой резьбы и резьбы метчика (рис. 44), по наружному диаметру метчика d стандартом регламентируется только нижнее предельное отклонение j_s , причём положительное, а верхнее отклонение не ограничивается. По среднему диаметру d_2 устанавливаются и нижнее и верхнее предельные отклонения, оба положительные. При этом их величина зависит от класса точности метчика. Это связано с тем, что вершины резьбы метчика и боковые стороны профиля участвуют в процессе резания (в процессе образования впадины нарезаемой резьбы) и с течением времени изнашиваются. При последующей переточке метчика его наружный и средний диаметры будут уменьшаться. Поэтому нормирование по этим диаметрам метчика положительных предельных отклонений позволяет увеличить количество возможных переточек и повысить срок службы метчика.

Впадины резьбы метчика никакого участия в процессе резания не принимают. Внутренний диаметр резьбы формируется при подготовке отверстия под резьбу (например, будет зависеть от диаметра сверла).

Поэтому величина допуска на внутренний диаметр резьбы метчика d_1 не регламентируется, наибольшая величина внутреннего диаметра метчика не должна превышать номинального значения внутреннего диаметра резьбы D_1 . Это позволяет обеспечить достаточный зазор между поверхностью отверстия под резьбу и впадинами резьбы метчика и избежать заклинивания метчика при нарезании резьбы.

Форма впадины резьбы метчиков всех классов точности может быть произвольной (плоскосрезанной или закругленной), но не должна располагаться выше линии AB , соответствующей внутреннему диаметру нарезаемой резьбы D_1 .

Предельные отклонения на шаг резьбы и половину угла профиля, как видно из табл. 12, устанавливаются симметричными относительно номинальных значений.

Сопоставляя действительные отклонения параметров резьбы метчика с предельными отклонениями, аттестуют метчик на предмет его соответствия стандарту.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой профиль метрической резьбы?
2. Назовите параметры метрической резьбы и приведите их обозначения.
3. В чём сущность комплексного метода контроля резьбы?
4. В чём сущность дифференцированного метода контроля резьбы? Методы и средства его осуществления.
5. Назовите основные узлы большого инструментального микроскопа (БМИ) и охарактеризуйте их назначение.
6. Штриховая окулярная головка. Её устройство и назначение.
7. Как измеряются с помощью БМИ линейные размеры деталей?
8. Как измеряются с помощью БМИ угловые размеры деталей?
9. Как осуществляется настройка микроскопа и какова её цель?
10. Опишите методику измерения наружного и внутреннего диаметров резьбы.

11. Опишите методику измерения среднего диаметра резьбы.
12. Опишите методику измерения накопленной погрешности шага резьбы.
13. Опишите методику измерения половины угла профиля резьбы.
14. Как исключить систематическую погрешность измерений, вызванную непараллельностью оси резьбы и направления продольного хода стола микроскопа?
15. Изобразите схемы полей допусков нарезаемой резьбы и резьбы метчика и дайте их описание.
16. Как осуществляется аттестация метчика на предмет его соответствия стандарту?

3 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ

Важным фактором, определяющим взаимозаменяемость деталей, наряду с точностью размеров является точность геометрической формы поверхностей и их профилей.

Основными причинами, обуславливающими возникновение отклонений формы поверхностей при обработке деталей, являются неточности и деформации станка, приспособлений, режущих инструментов и заготовок, неравномерность припуска на обработку, вибрации, происходящие в технологических системах в процессе резания, и др.

Отклонения формы оказывают влияние на характер соединений деталей машин, износ их поверхностей в процессе эксплуатации, а также на условия сборки и объём пригоночных работ. Поэтому при разработке конструкций изделий необходимо нормировать требования не только к точности размеров деталей, но и к точности формы сопрягаемых поверхностей.

3.1 Отклонения и допуски формы цилиндрических поверхностей

Отклонение формы поверхности или её профиля называют несоответствие формы реальной поверхности или реального профиля правильной геометрической форме, которую принимают в качестве номинальной. Количественной оценкой отклонений формы является наибольшее расстояние от точек реальной поверхности или реального профиля до прилегающих поверхностей или прилегающих профилей, измеренное по нормали к ним.

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

мальное значение. Аналогичное по структуре определение можно дать понятию «прилегающий профиль».

Применительно к цилиндрическим поверхностям базами для отсчёта отклонений формы являются прилегающие цилиндры, прилегающие окружности и прилегающие профили продольного сечения.

Прилегающие цилиндры это – для отверстия – цилиндр наибольшего возможного диаметра, вписанный в реальную поверхность (рис. 45а); для вала – цилиндр наименьшего возможного диаметра, описанный вокруг реальной поверхности (рис. 45б).

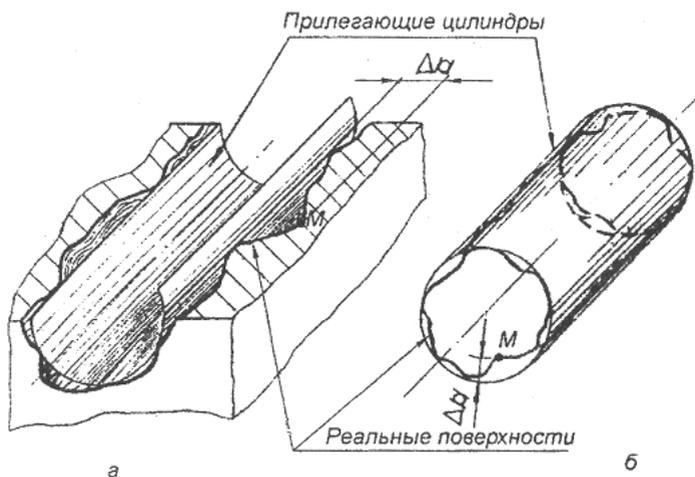


Рис. 45. Прилегающие цилиндры и отклонения от цилиндричности: *а* – для отверстия; *б* – для вала; *М* – точки реальных поверхностей, наиболее удалённые от прилегающих цилиндров

Аналогичные по структуре определения можно дать понятиям «прилегающая окружность» (рис. 46) и «прилегающий профиль продольного сечения» (рис. 47).

В качестве комплексного показателя, характеризующего отклонение формы реальной поверхности от прилегающего цилиндра, в соответствии со стандартом принято отклонение от цилиндричности, которое обозначается знаком /o/ и учитывает все возможные виды отклонений формы цилиндрических поверхностей в любом поперечном

и продольном сечениях. Количественно отклонение от цилиндричности Δ_{ϕ} характеризуется наибольшим расстоянием точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра (рис. 45).

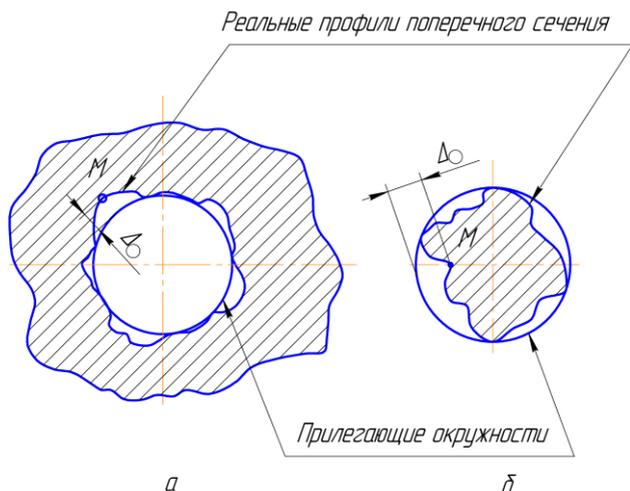


Рис. 46. Отклонения от круглости: *a* – для отверстия; *б* – для вала; *M* – точки реальных профилей, наиболее удалённые от прилегающих окружностей

В настоящее время производство не располагает средствами измерений, которые позволили бы измерить величину отклонения от цилиндричности. В связи с этим стандартом предусмотрены комплексные показатели отклонений формы цилиндрических поверхностей в отдельных сечениях: в *поперечном сечении* – отклонение от круглости, обозначается символом « ϕ » (рис. 46), а в *продольном сечении* – отклонение формы профиля продольного сечения, обозначается символом « \Rightarrow » (рис. 47). При этом отклонение от круглости Δ_{ϕ} учитывает все возможные виды отклонений формы профиля в поперечном сечении, а отклонение формы профиля продольного сечения Δ_{\Rightarrow} – все возможные виды отклонений формы в продольном сечении.

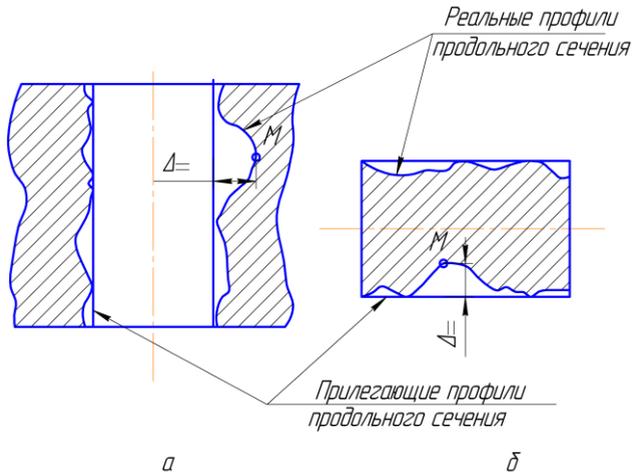


Рис. 47. Отклонения формы профиля продольного сечения: *а* – для отверстия; *б* – для вала; *М* – точки реальных профилей, наиболее удалённые от образующих цилиндров в этих сечениях

Для нормирования допусков формы поверхностей и профилей ГОСТ 24643-81 предусматривает 16 степеней точности: с 1-ой по 16-ю в порядке снижения.

Кроме того, в зависимости от отношения допуска формы к допуску размера установлено три уровня относительной геометрической точности: *нормальный* (отношение допуска формы к допуску размера составляет для цилиндрических поверхностей 30%, $\frac{T\phi}{T_r} \cdot 100\% = 30\%$);

повышенный $\left(\frac{T\phi}{T_r} \cdot 100\% = 20\% \right)$; *высокий* $\left(\frac{T\phi}{T_r} \cdot 100\% = 12\% \right)$.

Из этих соотношений видно, что допуск формы не может быть больше допуска на размер. Если допуск формы особо не нормируется, то допустимые отклонения формы поверхности должны укладываться в допуск на размер.

Допуски формы необходимо нормировать в тех случаях, когда требуется обеспечить высокую точность геометрической формы по-

верхности или профиля деталей, например, для посадочных шеек валов под внутренние кольца подшипников качения. За счёт этого достигается высокая степень однородности посадок в соединениях внутренних колец с валами, что благоприятно отражается на условиях эксплуатации и сборки подшипниковых узлов.

Обозначение допусков формы поверхностей и их профилей на чертежах в соответствии с ЕСКД иллюстрируется примерами, приведёнными на рис. 48.

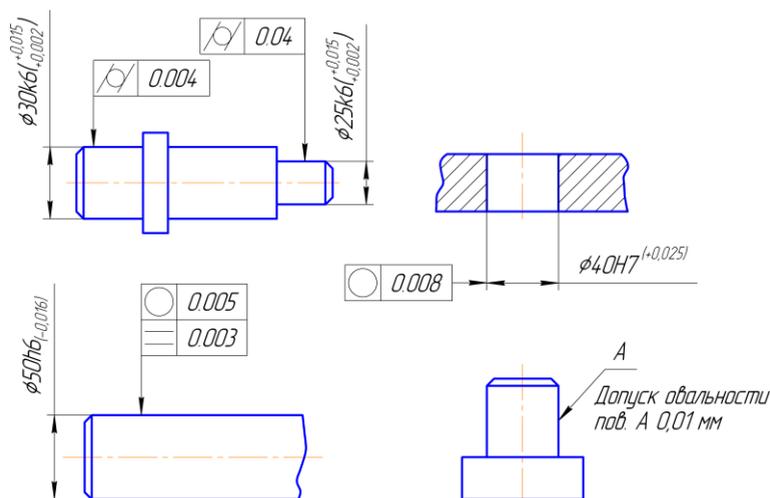


Рис. 48. Обозначение допусков формы на чертежах

Помимо комплексных отклонений, при различных видах обработки могут возникать и частные виды отклонений:

- в поперечном сечении: овальность и огранка (рис. 49);
- в продольном сечении: конусообразность, бочкообразность, седлообразность (рис. 50).

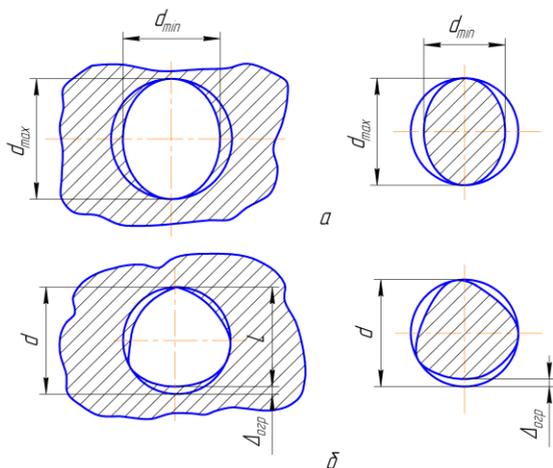


Рис. 49. Частные виды отклонений формы профиля поперечного сечения цилиндрических поверхностей: *a* – овальность; *б* – огранка

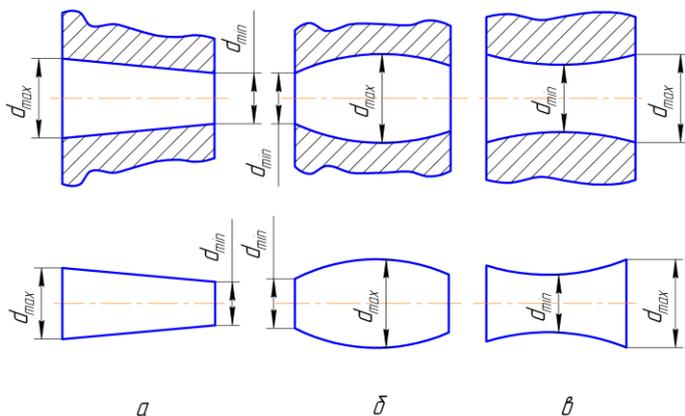


Рис. 50. Частные виды отклонений формы профиля продольного сечения цилиндрических поверхностей: *a* – конусообразность; *б* – бочкообразность; *в* – седлообразность

Допуски на частные виды отклонений на изображениях деталей в чертежах не указываются. Их величина при необходимости оговаривается в технических требованиях (рис. 48).

3.2 Лабораторная работа 4. Измерение отклонений формы цилиндрических поверхностей

Цель работы: ознакомление с системой нормирования допусков формы поверхностей; изучение комплексных и частных видов отклонений формы цилиндрических поверхностей и их профилей; приобретение навыков по обозначению допусков формы на чертежах в соответствии с ЕСКД; измерение отклонений формы и установление степени точности по ГОСТ 24643-81.

3.2.1 Конструкция и принцип действия кругломера КД мод. 290

Измерения отклонений от круглости цилиндрических поверхностей могут быть выполнены с помощью специальных приборов – кругломеров, принцип действия которых основан на методе относительного прецизионного вращения измерительного преобразователя и детали. Кругломеры делятся на два типа: с вращающимся измерительным преобразователем (КН) и вращающейся деталью (КД).

На рис. 51 представлена принципиальная схема кругломера типа КД мод. 290. Прибор установлен на основании 1. Прецизионный шпиндель, выполненный в виде диска на шариковых направляющих, вращается вместе с координатным предметным столом 2 и установленной на нём измеряемой деталью 3. Измерительный индуктивный преобразователь 4, укрепленный на каретке 5, перемещается и закрепляется в нужном положении относительно кронштейна 6 и стойки 7. Установка и закрепление каретки и кронштейна осуществляется с помощью устройств 8 – 11.

При вращении стола с деталью отклонения её поверхности от круглости фиксируются наконечником шупа индуктивного преобразователя, сигналы от которого подаются на электронный блок 12, где они преобразуются и выводятся на табло цифровой индикации. При

необходимости отклонения от круглости могут быть записаны на диаграммном диске с помощью записывающего устройства 13.

Управление работой кругломера осуществляется с помощью пульта 14.

Основные параметры кругломера:

- размеры диаметров измеряемых поверхностей: наружных – 0,5...250 мм, внутренних – 3...250 мм;
- наибольшая высота детали – 250 мм;
- увеличение в 100...10000 раз;
- радиальная погрешность – 0,12 мкм.

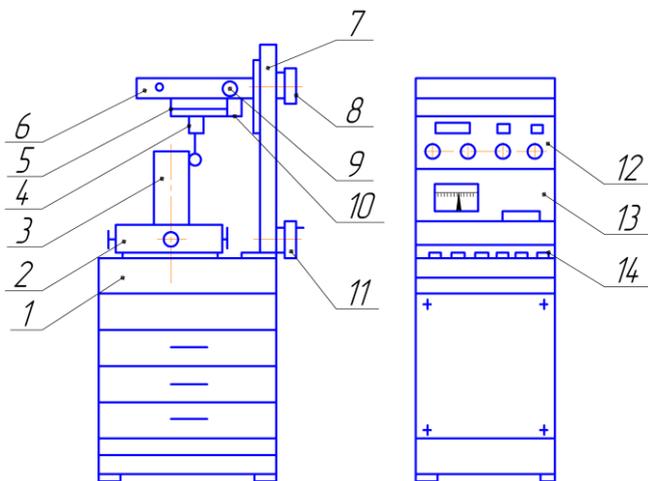
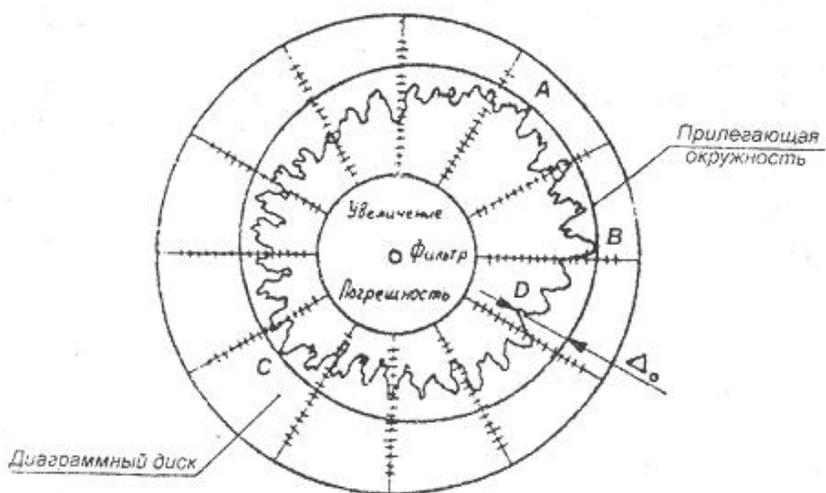


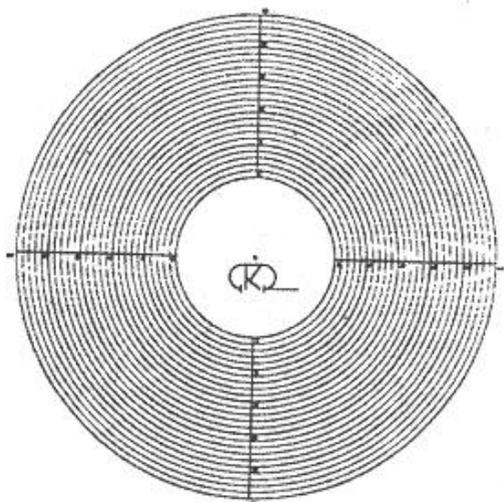
Рис. 51. Принципиальная схема кругломера типа КД мод. 290

3.2.2 Нахождение величины отклонения от круглости по круглограмме

Образец круглограммы наружной цилиндрической поверхности, записанной на диаграммном диске, приведён на рис. 52а.



а



б

Рис. 52. Круглограмма наружной цилиндрической поверхносим (а)
и шаблон для обработки круглограмм (б)

Отклонение от круглости Δ_0 в соответствии со стандартом определяется наибольшим расстоянием от точек реального профиля поперечного сечения цилиндрической поверхности до прилегающей окружности (рис. 46). Прилегающая окружность обычно воспроизводится с помощью прозрачного шаблона с концентрическими окружностями (рис. 52б), расстояние между которыми составляет 2 мм. Это своеобразная шкала, цена деления которой определяется установленным увеличением на записывающем блоке кругломера. Например, при увеличении 2000-х цена деления шаблона равна 1 мкм.

Обработка круглограммы производится следующим образом. Прозрачный шаблон накладывают на диаграммный диск и подбирают окружность наименьшего (для наружных поверхностей) диаметра, которая касалась бы круглограммы в самых выступающих её точках, например, А, В и С (рис. 52а). Это и будет прилегающая окружность.

Затем находят наиболее удалённую от прилегающей окружности точку реального профиля (в рассматриваемом примере – точка Д) и определяют её расстояние до прилегающей окружности, то есть отклонение от круглости Δ_0 . Полученные результаты сопоставляют с допусками, приведёнными в ГОСТ 24643-81, и определяют степень точности. Найденную степень точности и величину допуска круглости записывают.

3.2.3 Измерение овальности и огранки

Как отмечалось выше, отклонения формы профиля поперечного сечения цилиндрических деталей могут носить частный характер. К таким частным видам отклонений относятся овальность и огранка.

В случае овальности реальный профиль представляет собой овалобразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 49а).

Величина овальности $\Delta_{ов}$ может быть найдена по формуле:

$$\Delta_{ов} = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}.$$

При этом диаметры d_{\max} и d_{\min} при контроле наружных поверхностей легко могут быть измерены с помощью микрометра.

На рис. 53 представлена схема измерения овальности заготовки вала-шестерни. Для определения овальности необходимо выбрать какое-либо поперечное сечение и провести ряд измерений диаметра, последовательно поворачивая вал на небольшой угол (примерно $10-20^\circ$). Выбрав из полученных результатов наибольшее значение d_{\max} , отметить направление, при измерении в котором оно было получено. Повернуть вал на 90° и измерить его диаметр d_{\min} . По формуле найти величину овальности. Результаты занести в протокол отчёта.

Если вал имеет значительную длину, то при измерении частных видов отклонений формы профиля в поперечном, а также в продольном сечениях его удобно устанавливать в центрах.

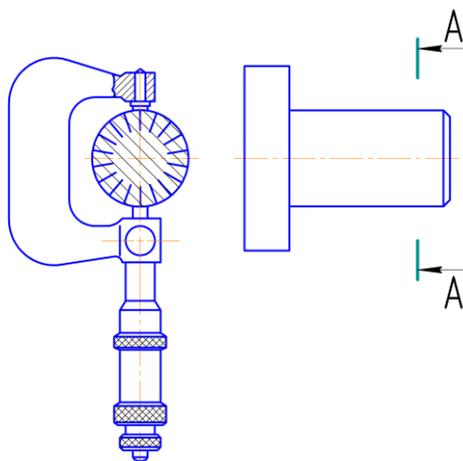


Рис. 53. Схема измерения овальности вала

Огранкой называют такой частный вид отклонения от круглости, при котором реальный профиль поперечного сечения представляет собой криволинейный многоугольник (рис. 49б). При этом число его сторон может быть как чётным, так и нечётным. При чётном числе сторон величину огранки вала $\Delta_{огр}$ так же, как и овальность, можно

измерить с помощью микрометра, определив её как полуразность размеров d_{\max} и d_{\min} , полученных в результате измерений.

При нечётном числе сторон для измерения огранки вала целесообразно использовать простейшее приспособление с кольцом, внутренний диаметр которого равен диаметру прилегающей окружности. Это условие выполняется с помощью набора колец разных диаметров. Вместо набора колец можно использовать разжимное кольцо, а в труднодоступных местах (например, шейки коленчатого вала) – разрезное.

Проворачивая вал в кольце (рис. 54), находят величину огранки $\Delta_{\text{огр}}$ как алгебраическую разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора. Результаты измерений заносят в протокол отчёта.

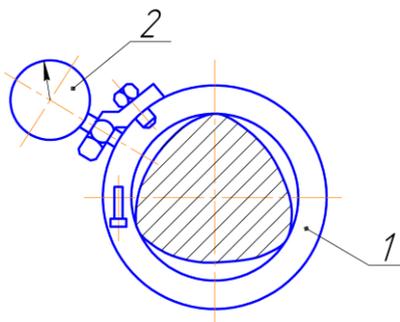


Рис. 54. Схема измерения огранки вала:
1 – разжимное кольцо; 2 – индикатор

Представленное на рис. 54 приспособление может быть также использовано для измерения овальности, огранки при чётном числе граней и любых отклонений от круглости.

Для более точных измерений овальности и огранки может быть использован кругломер, принцип действия и конструкция которого рассмотрены выше. Причём указанные измерения одинаково легко могут быть выполнены и для наружных, и для внутренних поверхностей.

3.2.4 Измерение отклонений профиля в продольном сечении

Отклонение формы профиля продольного сечения Δ характеризуется наибольшим расстоянием точек образующих реальной поверхности до соответствующей стороны прилегающего профиля (рис. 47).

Хотя этот комплексный показатель согласно стандарту может нормироваться и указываться на чертеже (рис. 48), на практике для деталей машин им не пользуются. Взамен его используют частные виды отклонений, а именно: конусообразность $\Delta_{\text{кон}}$, бочкообразность $\Delta_{\text{боч}}$ и седлообразность $\Delta_{\text{сед}}$ (рис. 50).

Конусообразность $\Delta_{\text{кон}}$ – это такое частное отклонение формы профиля продольного сечения реальной цилиндрической поверхности, при котором её образующие прямолинейны, но не параллельны друг другу (рис. 50а). Величина конусообразности может быть найдена по формуле

$$\Delta_{\text{кон}} = \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{2},$$

где d_{max} и d_{min} – наибольший и наименьший диаметры, измеренные в крайних поперечных сечениях детали, соответствующих нормируемому участку.

Бочкообразность $\Delta_{\text{боч}}$ называется такое отклонение профиля продольного сечения реальной цилиндрической поверхности, при котором её образующие непрямолинейны, а диаметры увеличиваются от торцев к середине продольного сечения (рис. 50б). Величина бочкообразности может быть определена по формуле

$$\Delta_{\text{боч}} = \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{2},$$

где d_{min} – диаметры, измеренные у торцев детали; d_{max} – диаметр, измеренный в середине продольного сечения.

При *седлообразности* $\Delta_{\text{сед}}$, в отличие от бочкообразности, диаметры от торцев к середине продольного сечения уменьшаются (рис. 50в). Величина седлообразности рассчитывается по той же формуле, что и бочкообразность, но только: d_{max} – это диаметры, измеренные у торцев

детали, а d_{\min} – это диаметр, измеренный в середине продольного сечения.

Измерения величин отклонений $\Delta_{\text{кон}}$, $\Delta_{\text{боч}}$, $\Delta_{\text{сед}}$ могут быть выполнены с помощью микрометра. Для этого необходимо измерить диаметры контролируемых валиков в трёх сечениях по длине: два диаметра – ближе к торцам и один посередине (рис. 55). Результаты измерений записываются.

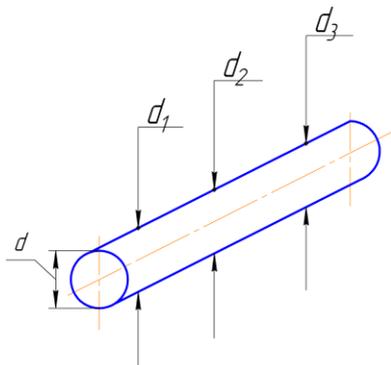


Рис. 55. Схема измерения конусообразности, бочкообразности и седлообразности вала

Найти отклонение формы профиля продольного сечения как полуразность наибольшего и наименьшего диаметров, полученных при измерениях. Проанализировав характер измерения диаметров по длине вала, выяснить вид отклонения. Сопоставить действительную величину отклонений с допусками по ГОСТ 24643-81 и определить степень точности формы профиля продольного сечения. Результаты занести в протокол отчёта.

3.2.5 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе.
2. Изучить виды отклонений формы цилиндрических поверхностей, параметры, их характеризующие, и правила указания допусков формы на чертежах.

3. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия кругломера КД мод. 290 и другими инструментами, используемыми в лабораторной работе.

4. Получить у преподавателя образцы контролируемых деталей и круглограммы поверхностей.

5. Путём обработки круглограммы определить отклонение от круглости Δ_0 и записать его значение.

6. Сопоставить результаты измерений с допусками круглости по ГОСТ 24643-81 и определить степень точности. Найденную степень точности и величину допуска записать.

7. Привести эскиз контролируемого вала с указанием допуска круглости.

8. С помощью микрометра и приспособления с кольцом измерить величину овальности $\Delta_{ов}$ и огранки $\Delta_{огр}$. Результаты измерений записать.

9. Измерить диаметры гладких валиков по длине. Результаты измерений записать. Рассчитать отклонения формы профиля продольного сечения и определить вид отклонения.

10. Сопоставить результаты измерений с допусками по ГОСТ 24643-81 и определить степень точности формы профиля продольного сечения. Найденную степень точности и величину допуска записать.

11. Привести эскиз контролируемого вала с указанием допуска формы продольного сечения.

12. Оформить отчёт по работе и предъявить его преподавателю.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под отклонением формы реальной поверхности?

2. Что является базой для отсчёта отклонений формы цилиндрических поверхностей и их профилей?

3. Перечислите и дайте определения комплексным показателям отклонений формы цилиндрических поверхностей и их профилей.

4. Перечислите и дайте характеристику частным видам отклонений формы профилей поперечного и продольного сечений цилиндрических поверхностей.

5. Как указываются на чертежах допуски формы и как они соотносятся с допусками на размеры цилиндрических поверхностей?

6. В чём состоит принцип действия кругломера и как определяется отклонение от круглости по круглограммам?

7. Как можно измерить овальность и огранку в поперечном сечении цилиндрической детали?

8. Чем характеризуется и как измеряется конусообразность, бочкообразность и седлообразность в продольном сечении цилиндрической детали?

4 НОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И МЕТОДЫ ЕЕ КОНТРОЛЯ

4.1 Общие сведения

Поверхности деталей машин преимущественно ограничены плоскостями или поверхностями вращения (цилиндрическими, коническими, сферическими и др.). Микропрофиль поверхности (шероховатость) в процессе формообразования детали образуется вследствие взаимного перемещения инструмента и заготовки, копирования геометрии инструмента, процессов пластической деформации, наростообразования и т.д.

К шероховатости относят отклонения поверхности, для которых выполняется условие

$$S/R \leq 40,$$

где R – высота профиля; S – средний шаг местных выступов профиля.

Несмотря на малые размеры неровностей, шероховатость поверхности оказывает влияние на многие эксплуатационные свойства деталей [5]: контактные деформации (прочность неподвижных соединений с натягом, герметичность соединений), трение и износ, коррозионную стойкость, концентрацию напряжений (сопротивление усталости, сопротивление ударным нагрузкам), обтекаемость жидкостями и газами, электроконтактное сопротивление, магнитные свойства и др.

В России впервые критерий шероховатости был стандартизирован в 1928 году, когда шероховатость поверхности была разделена на четыре группы и обозначалась соответствующим количеством треугольников. В настоящее время параметры и нормы шероховатости поверхности устанавливают ГОСТ 2789-73 и ГОСТ 25142-82. Высота неровностей шероховатости нормируется в диапазоне 0,025...1600 мкм на базовой длине, выбранной из стандартного ряда от 0,01 мм до 25 мм (табл. 13).

Т а б л и ц а 13. Числовые значения параметров шероховатости

Ra , МКМ	-	100	10	1,00	0,100	0,010
	-	80	8,0	0,80	0,080	0,008
	-	63	6,3	0,63	0,063	-
	-	50	5,0	0,50	0,050	-
	-	40	4,0	0,40	0,040	-
	-	32	3,2	0,32	0,032	-
	-	25	2,5	0,25	0,025	-
	-	20	2,0	0,20	0,020	-
	-	16	1,6	0,16	0,016	-
-	12,5	1,25	0,125	0,012	-	
Rz, R_{max} , МКМ	-	100	10	1,00	0,100	0,010
	-	80	8,0	0,80	0,080	0,008
	-	63	6,3	0,63	0,063	-
	-	50	5,0	0,50	0,050	-
	-	40	4,0	0,40	0,040	-
	-	32	3,2	0,32	0,032	-
	-	25	2,5	0,25	0,025	-
	-	20	2,0	0,20	0,020	-
	-	16	1,6	0,16	0,016	-
-	12,5	1,25	0,125	0,012	-	
S_m, S , МКМ	-	-	10	1,00	0,100	0,010
	-	-	8,0	0,80	0,080	0,008
	-	-	6,3	0,63	0,063	0,006
	-	-	5,0	0,50	0,050	0,005
	-	-	4,0	0,40	0,040	0,004
	-	-	3,2	0,32	0,032	0,003
	-	-	2,5	0,25	0,025	0,002
	-	-	2,0	0,20	0,020	-
	-	-	1,6	0,16	0,016	-
	-	12,5	1,25	0,125	0,012	-

4.2 Термины и определения

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей (микропрофиль) поверхности с относительно малыми шагами, выделенная на каком-либо участке с помощью базовой длины.

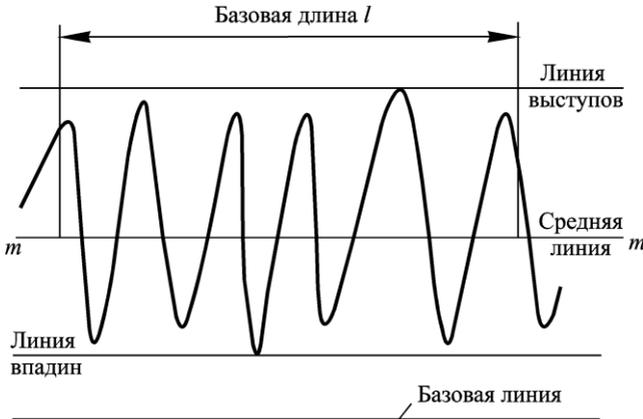


Рис. 56. Базовые линии профиля

Базовая длина l – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности (рис. 56).

Базовая линия (поверхность) – линия (поверхность) заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля (поверхности) и служащая для оценки геометрических параметров шероховатости.

Базовая линия по форме повторяет заданную конструктором номинальную линию, образующую поверхность детали.

Средняя линия профиля m – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально (рис. 56).

Средняя линия профиля является удобной базой для определения всех числовых значений параметров шероховатости поверхности и единственной для оценки параметров Ra и S_m , определения для которых приведены ниже.

Линия выступов – линия эквидистантная средней линии, проходящая через наивысшую точку профиля в пределах базовой длины (рис. 56).

Линия впадин – линия эквидистантная средней линии, проходящая через наинизшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия выступов и линия впадин могут служить базовыми линиями при определении параметров шероховатости R_{\max} , Rz , t_p .

Высота наибольшего выступа профиля R_p – расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины (рис. 57).

Глубина наибольшей впадины профиля R_v – расстояние от низшей точки профиля до средней линии в пределах базовой длины.

Наибольшая высота профиля R_{\max} – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины (рис. 57).

Параметр R_{\max} может определяться в соответствии с формулой

$$R_{\max} = R_p + R_v.$$

Числовые значения параметра R_{\max} задаются в микрометрах (мкм) и выбираются из таблиц ГОСТ 2789-73, которые приведены в табл. 13.

Высота выступа профиля y_{pi} – расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа профиля (рис. 57).

Глубина впадины профиля y_{vi} – расстояние от средней линии профиля до низшей точки впадины профиля.

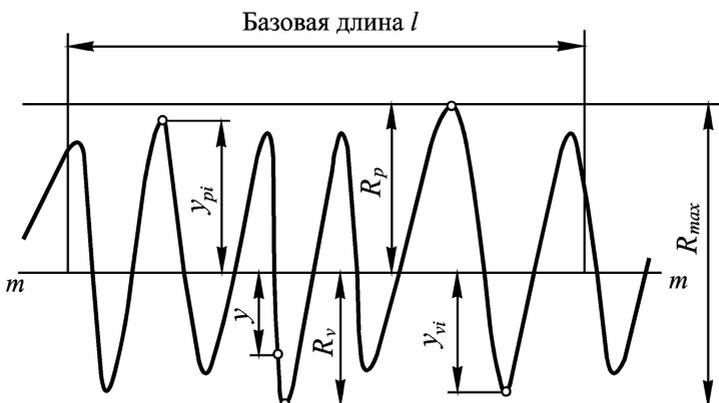


Рис. 57. Высотные параметры профиля

Высота неровностей по десяти точкам R_z – сумма средних арифметических абсолютных значений отклонений от средней линии точек пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right).$$

Числовые значения параметра R_z определяются в микрометрах (мкм) и выбираются из таблиц ГОСТ 2789-73 (табл. 13).

Отклонение профиля y – расстояние между точкой профиля и средней линией профиля (рис. 57).

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

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx.$$

Числовые значения параметра R_a определяются в микрометрах (мкм) и выбираются из таблиц ГОСТ 2789-73 (табл. 13).

Шаг неровности профиля S_{mi} – отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля.

Иными словами, шаг неровности профиля – отрезок средней линии профиля, пересекающий профиль в трех соседних точках и ограниченный двумя крайними точками (рис. 58).

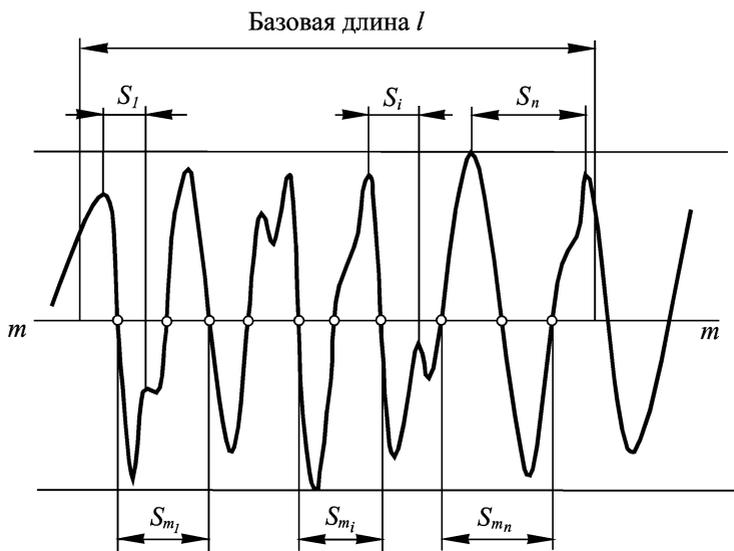


Рис. 58. Шаговые параметры профиля

Средний шаг неровностей профиля S_m – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

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

где n – число шагов в пределах базовой длины.

Шаг местных выступов (по вершинам) S_i – отрезок средней линии между проекциями на нее наивысших точек соседних местных выступов профиля (рис. 58).

Средний шаг местных выступов профиля S – среднее арифметическое значение шага местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины:

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

где n – число шагов в пределах базовой длины.

Уровень сечения профиля p – расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля (рис. 59).

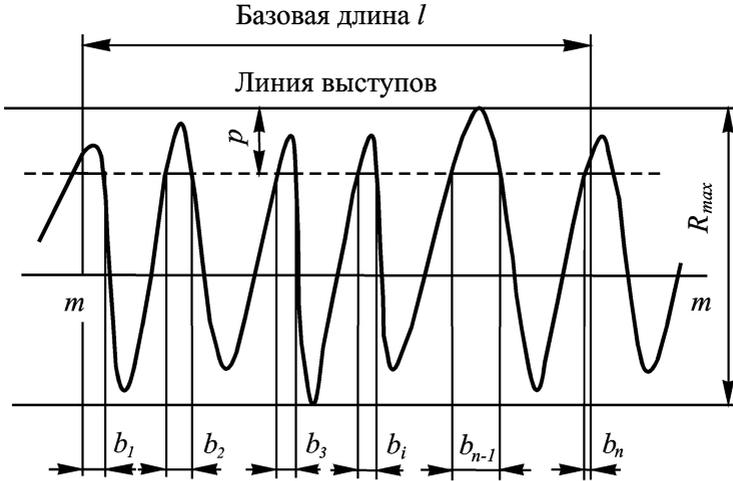


Рис. 59. Опорная длина профиля

При задании характеристик шероховатости поверхности уровень p стараются задать на уровне опорной линии – линии, по которой происходит фактический контакт сопрягаемых деталей.

Уровень сечения профиля p отсчитывается от линии выступов и выбирается в процентах от R_{\max} из значений, установленных в ГОСТ 2789-73, которые приведены в табл. 13.

Опорная длина профиля η_p – сумма длин отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне p в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины (рис. 59):

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i.$$

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

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}.$$

Относительная опорная длина профиля t_p определяется в процентах от базовой длины l из числовых значений, установленных в ГОСТ 2789-73 (табл. 13).

4.3 Назначение параметров шероховатости и их числовых значений

Для обеспечения заданного качества изделий (исходя из функционального назначения поверхности деталей) устанавливают требования к шероховатости. Если в этом нет необходимости, параметры шероховатости не устанавливают и шероховатость не контролируют.

Требования к шероховатости устанавливают без учета дефектов поверхности (царапин, раковин и т.д.).

Обычно величины параметров шероховатости назначают в соответствии с точностью исполняемого размера. В отдельных случаях для придания поверхности особых свойств (оптических, адгезионных и т.п.) от этого правила конструктор может отойти. При этом значения параметров шероховатости устанавливаются таким образом, чтобы обеспечить заданные свойства. Для ответственных деталей шероховатость определяется требованиями технической эстетики, коррозионной стойкости и технологией изготовления.

ГОСТ 2789-73 устанавливает нормы на шесть основных параметров микрогеометрии поверхности:

Ra , Rz , R_{\max} – высотные характеристики неровностей, мкм;

S_m , S – характеристики шероховатости в направлении длины профиля, мм;

t_p – характеристика шероховатости, связанная с формой неровностей профиля, %.

Параметр Ra определяется стандартом (ГОСТ 2789-73) в качестве предпочтительного.

Числовые значения перечисленных параметров шероховатости (наибольшие, наименьшие, номинальные или диапазоны значений) выбираются из таблиц ГОСТ 2789-73 (табл. 13).

Требование к шероховатости поверхности устанавливают путем указания базовой длины, параметров шероховатости и их числовых значений.

4.4 Обозначение шероховатости поверхности на чертежах

Согласно ГОСТ 2.309 – 73 шероховатость поверхности обозначают для всех выполняемых по заданному чертежу поверхностей детали, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 60.

При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки, например, $\sqrt{Ra\ 1,6\ (\checkmark)}$.

В обозначении шероховатости поверхности, способ обработки которой конструктором не устанавливается, применяют знак \checkmark .

В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована только удалением слоя материала, применяют знак ∇ .

В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, применяют знак ∇ .

На рис. 61 приведены примеры обозначения шероховатости поверхности на чертежах.

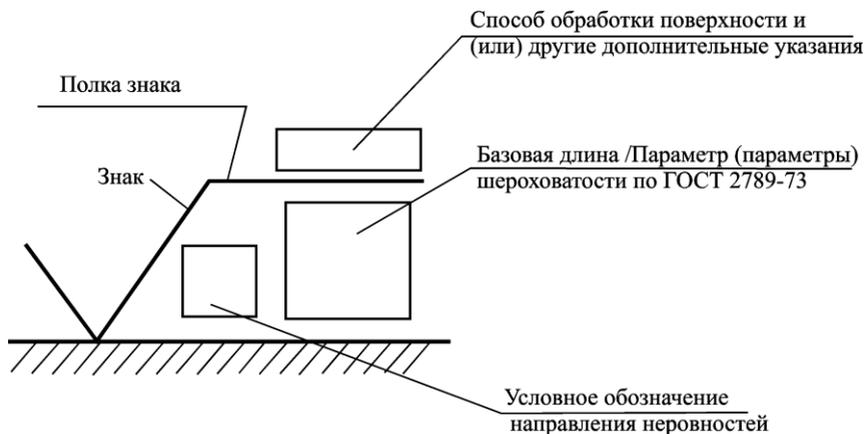


Рис. 60. Структура обозначения шероховатости на чертежах

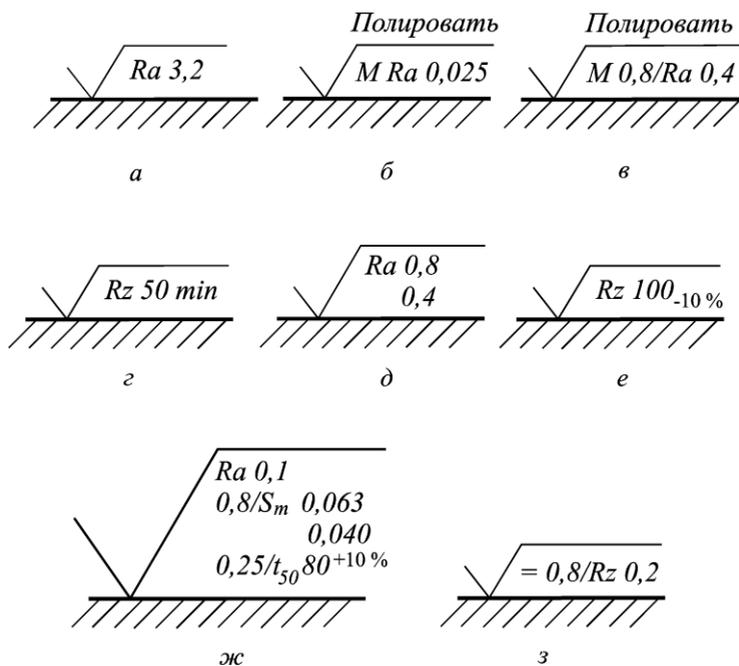


Рис. 61. Примеры обозначения шероховатости поверхности

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений (рис. 61а, б, в, з).

При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «min» (рис. 61г).

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки. В верхней строке приводят значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости (рис. 61д).

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями по ГОСТ 2789-73 (рис. 61е).

При нормировании требований к шероховатости поверхности параметрами Ra , Rz , R_{\max} базовую длину в обозначении шероховатости не приводят (рис. 61а, б, г-е), если она соответствует указанной в ГОСТ 2789-73 для выбранного значения параметра шероховатости (табл. 14). В остальных случаях значение базовой длины указывается перед параметром шероховатости (рис. 61в, ж, з).

Т а б л и ц а 14. Предпочтительные значения базовой длины для высотных параметров шероховатости

Базовая длина λ , мм	Параметры шероховатости	
	Rz, R_{\max} , мкм	Ra , мкм
8	Св. 50 до 400	Св. 12,5 до 100
2,5	Св. 12,5 до 50	Св. 3,2 до 12,5
0,8	Св. 1,6 до 12,5	Св. 0,4 до 3,2.
0,25	Св. 0,1 до 1,6	Св. 0,025 до 0,4
0,08	До 0,1	До 0,025

Условные обозначения направления неровностей приведены в ГОСТ 2789-73.

4.5 Лабораторная работа 5. Измерение параметров шероховатости поверхности

Цель работы: ознакомление с параметрами оценки шероховатости поверхности, принципами их назначения и обозначения на чертежах, методикой определения шероховатости поверхности по профилограмме, методикой прямого измерения шероховатости на автоматизированных средствах измерения, методикой статистической обработки результатов выполненных измерений.

4.5.1 Средства контроля и измерения шероховатости поверхности

Контроль и измерение шероховатости поверхности могут быть выполнены различными методами. Наиболее простым и в то же время наиболее субъективным методом (точность его зависит от квалификации исполнителя) является метод сравнения с эталонным образцом, шероховатость которого известна. Эталонные образцы шероховатости впервые начали применяться в России с 1893 года на Тульском оружейном заводе под именем «лекала – образцы чистоты».

Непосредственное измерение и количественную оценку основных параметров шероховатости поверхности обеспечивают щуповые приборы типа профилометр, профилометр-профилограф. С их помощью определяются значения Ra , Rz , R_{\max} , S_m , S и t_p .

Наиболее распространенными моделями профилометр-профилографов являются модели «Калибр 250», «Калибр 252» и БВ-7669. В лабораторной работе используется автоматизированный профилометр-профилограф модели БВ-7669, обладающий широкими возможностями оценки шероховатости.

Действие любого профилометр-профилографа основано на ощупывании неровностей исследуемой поверхности алмазным щупом датчика 1 (рис. 62), воспроизводящим эти неровности, и преобразовании возникающих при этом колебаний щупа в изменения напряжения, пропорциональные этим колебаниям. Перемещение датчика с постоянной скоростью относительно измеряемой поверхности осуществляется мотоприводом 2.

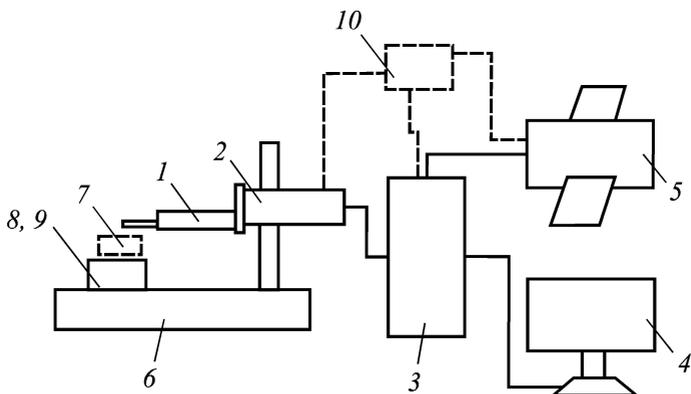


Рис. 62. Общий вид профилограф-профилометра

В компьютере, оснащенный специальной платой, или электронном блоке прибора 3 происходит усиление и преобразование сигнала с датчика, вычисление параметров шероховатости исследуемой поверхности с выдачей результатов на монитор 4 (или устройство цифровой индикации, которое может располагаться на электронном блоке) и принтер (или специальное записывающее устройство) 5. Обычно электронный блок осуществляет управление мотоприводом и записывающим устройством, но в профилометр-профилографе модели «Калибр-250» для включения прибора в сеть и управления мотоприводом по командам электронного блока используется блок – приставка 10. Записывающее устройство (принтер) служит для записи неровностей исследуемой поверхности (профилограммы). Для размещения изделия 7 и ориентирования измеряемой поверхности изделия относительно датчика используются призма (для цилиндрических деталей) 8 и предметный стол 9 (для деталей с плоской опорной поверхностью). Предметный стол, призма (для цилиндрических деталей) и другие устройства и приспособления ставятся на основание стойки 6. В каретке стойки крепится мотопривод 2. Перемещения каретки позволяют устанавливать мотопривод с датчиком на различной высоте.

Последовательность измерения шероховатости поверхности на всех профилометр-профилографах практически идентична. Рассмотрим процесс ее измерения на приборе БВ-7669.

Измеряемую деталь необходимо установить на основание стойки, призму или предметный стол, а мотопривод закрепить в каретке, которая может поворачиваться в вертикальной плоскости, так, чтобы перемещение датчика было параллельно контролируемой поверхности.

После запуска программного обеспечения на экране монитора должно появиться рабочее окно пользователя, изображенное на рис. 63. В зоне «Параметры трассирования» установить верхний предел диапазона измерения, равный 25 мкм, поз. 2 для параметра Ra . Опустить мотопривод, используя гайку на стойке или маховик на подвеске датчика к мотоприводу, до касания датчика с контролируемой поверхностью. Датчик опустить в такое положение, чтобы верхняя часть индикатора 3 в зоне «Положение датчика» имела зеленый цвет. Синий (красный) цвет индикатора означает, что щуп датчика находится выше (ниже) «нулевого» положения. Положение датчика фиксируется стопорными винтами стойки и подвески датчика.

В зоне «Параметры трассирования» необходимо установить обозначение измеряемого параметра Ra или Rz , R_{\max} (поз. 1 на рис. 63) и верхний предел диапазона измерения поз. 2, равный ожидаемому значению, умноженному на четыре и округленному до ближайшего большего из стандартного ряда. Например, для ожидаемого значения $Ra = 1,1$ мкм нужно установить $Ra = 5,0$ мкм ($1,1 \cdot 4 = 4,4 < 5,0$). Если ожидаемое значение неизвестно, установите максимальное значение параметра. При необходимости отрегулировать положение датчика по индикатору 3, используя движок 4 скользящей шкалы «Подстройка 0», чтобы верхняя часть индикатора имела зеленый цвет.

Скорость трассирования устанавливается двумя кнопками увеличить/уменьшить 5, находящимися справа от кнопки «Скорость» 6 в зоне «Параметры трассирования».

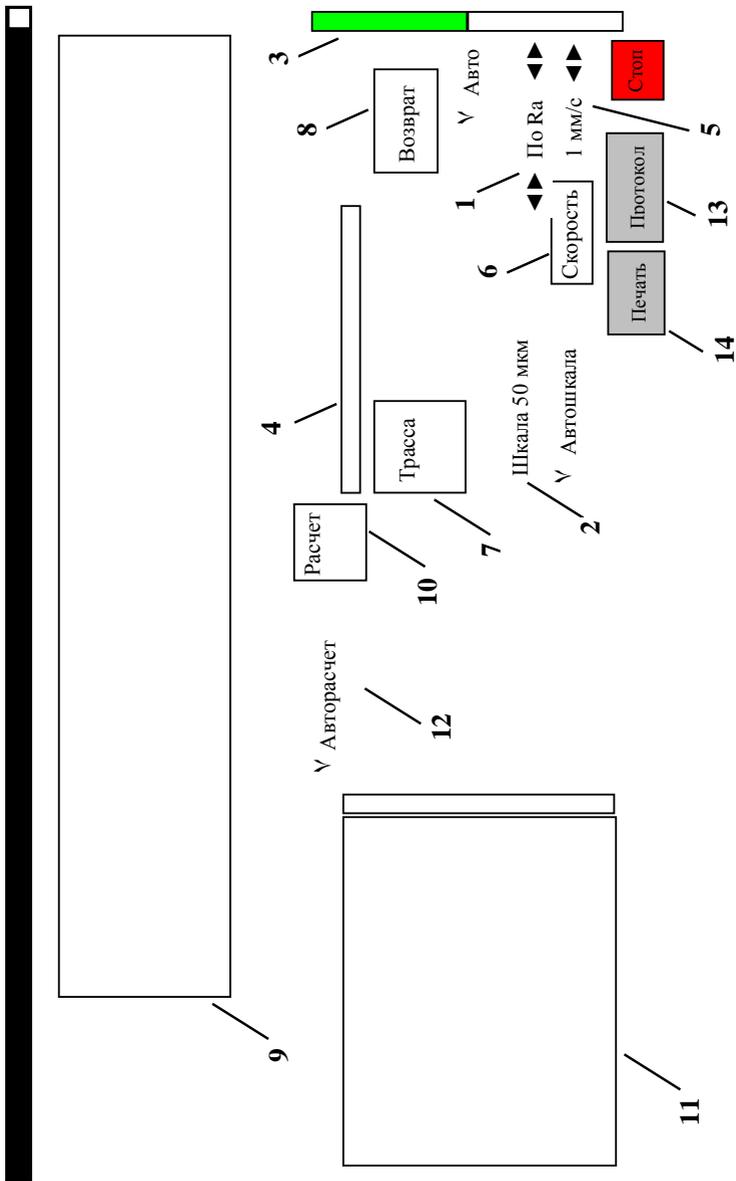


Рис. 63. Вид рабочего окна пользователя.

После нажатия кнопки «Трасса» 7 в зоне «Трассирование» (если кнопка не активна, нажмите кнопку «Возврат» 8 и активизируйте опцию «Авто» под кнопкой «Возврат») привод начнет перемещать датчик по контролируемой поверхности. Процесс трассирования сопровождается вычерчиванием ошупываемого профиля в графическом окне 9.

Вычисление значений параметров шероховатости осуществляется нажатием кнопки «Расчет» 10. Полученные результаты отображаются в окне «Результаты измерения» 11. При активации опции «Авторасчет» 12 вычисление значений параметров шероховатости происходит автоматически сразу после трассирования.

Вывод результатов измерения возможен как в файл, так и на принтер и производится нажатием кнопок «Протокол» 13 или, соответственно, «Печать» 14. При нажатии кнопки «Протокол» результаты записываются в файл protocol.txt, который содержит имя файла профилограммы, вычисленные значения параметров, а также справочную информацию.

Профилограммы (рис. 64), полученные с помощью профилографов-профилометров, могут быть обработаны вручную. Предварительно на них указываются значения базовой длины (БД) – l , вертикального увеличения – ВУ и горизонтального увеличения – ГУ.

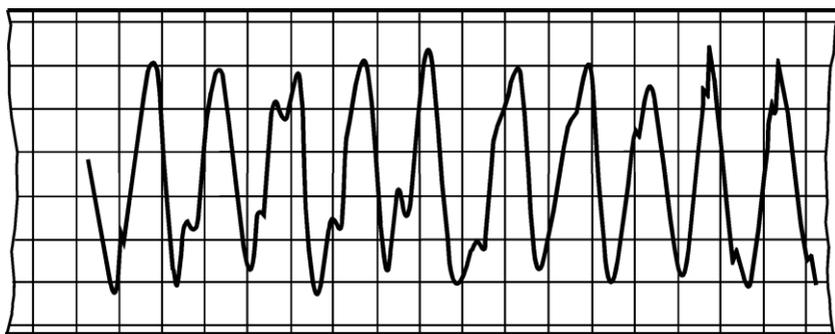


Рис. 64. Профилограмма

Значения параметров Rz , R_{\max} , S можно определить при помощи микроинтерферометров и растровых измерительных микроскопов с визуальными окулярными винтовыми микрометрами, а также при помощи приборов светового сечения с визуальным окулярным винтовым микрометром [3].

4.5.2 Обработка профилограммы

В предлагаемой методике обработки профилограммы символы с индексом « n » применяются для обозначения параметров, измеренных на профилограмме. Например: R_{\max}^n – наибольшая высота неровностей профиля, измеренная на профилограмме (т.е. с учетом вертикального увеличения); R_{\max} – натуральное (фактическое) значение наибольшей высоты неровностей профиля.

Обработка профилограммы осуществляется в последовательности, указанной ниже.

1. Определить на профилограмме длину отрезка l^n , мм соответствующего базовой длине, по формуле

$$l^n = l \cdot \Gamma У,$$

и определить его границы (рис. 65).

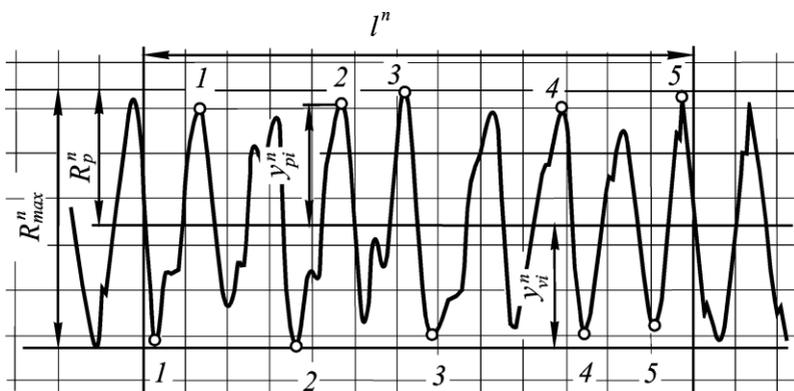


Рис. 65. Обработка профилограммы. Высотные параметры

2. В пределах отмеченной на профилограмме базовой длины через наивысшую и наиминимую точки профиля (для номинально прямолинейного профиля) провести параллельно направлению записи профилограммы линии выступов и впадин и измерить между ними расстояние R''_{\max} (рис. 65) в миллиметрах. Параметр шероховатости R_{\max} , мкм определяется как расстояние между линией выступов и линией впадин с учетом вертикального увеличения:

$$R_{\max} = \frac{1000R''_{\max}}{BY}.$$

3. По найденному значению R_{\max} , пользуясь табл. 14, проверить соответствие базовой длины l основному значению.

4. Построить на профилограмме среднюю линию профиля.

Стандартная методика обработки профилограммы [3] предлагает довольно трудоемкий порядок действий и расчетов для проведения средней линии профиля.

Для номинально прямолинейного профиля на профилограмме при ее ручной обработке допускается визуальное проведение средней линии параллельно общему направлению профиля. Средняя линия проводится так, чтобы площади по обеим сторонам от этой линии до линии профиля были примерно равны между собой [3]. Однако измерение площадей между средней линией и линией профиля является также весьма трудоемкой операцией.

Точность построения средней линии профиля существенно влияет на значение параметра Ra . Положение средней линии профиля абсолютно не влияет на значения параметров Rz , R_{\max} , S , t_p . Поэтому для выполнения лабораторной работы предлагается упрощенный порядок построения средней линии профиля.

В первом приближении среднюю линию профиля можно провести посередине между линией выступов и линией впадин в пределах выбранной БД (рис. 65), т.е. на расстоянии $R''_p = 0,5R''_{\max}$ от линии выступов.

5. Выделить на профилограмме в пределах БД пять наибольших выступов, так чтобы между ними профилограмма пересекала среднюю линию профиля, и аналогично пять наибольших впадин. После чего измерить расстояние от средней линии до каждого из пяти наибольших выступов y_{pi} и расстояние от средней линии до каждой из пяти наибольших впадин y_{vi} (рис. 65). Затем необходимо проверить точность построения средней линии профиля. Выбранные выступы и впадины должны располагаться на профилограмме достаточно симметрично относительно середины отрезка базовой длины.

Правильность проведения средней линии проверяется по условию

$$\left| \sum_{i=1}^5 y_{pi} - \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right| \leq 5 \text{ мм.}$$

При необходимости откорректировать положение средней линии профиля.

Значение параметра Rz , мкм находят по формуле

$$Rz = \frac{1}{5 \cdot BY} \left(\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right) \cdot 10^3.$$

По найденному значению Rz с использованием табл. 14 проверить соответствие базовой длины l основному значению.

6. Для нахождения значения параметра t_p на профилограмме в пределах участка БД на заданном уровне p^n , мм, отсчитываемом от линии выступов (рис. 66), провести линию, пересекающую профиль эквидистантно линии выступов:

$$p^n = R_{\max}^n \cdot p.$$

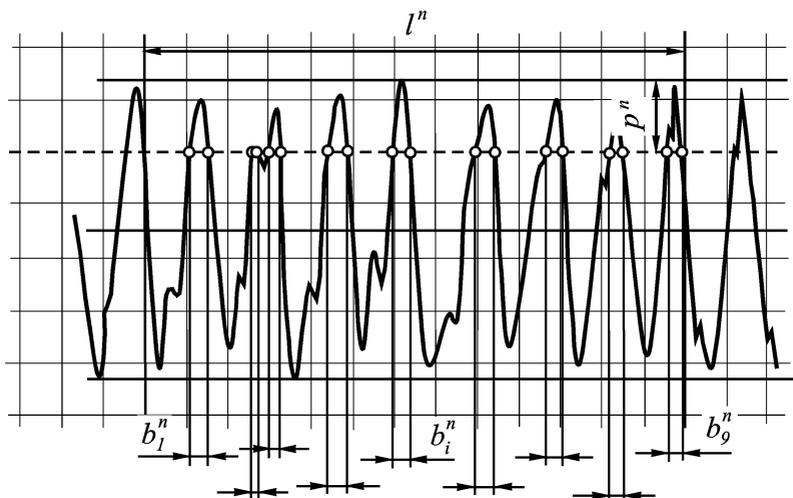


Рис. 66. Обработка профилограммы. Относительная опорная длина профиля t_p

Измерить отрезки b_i^n в мм, отсекаемые на уровне p^n в материале выступов измеряемого профиля.

Значение параметра находится по формуле

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i^n}{l^n} \cdot 100\% .$$

7. Значение параметра S_m , согласно [3], можно определить следующим способом (рис. 67):

– на участке профилограммы, определяемом БД, сосчитать число пересечений профиля со средней линией;

– измерить длину отрезка средней линии l_{om}^n , ограниченного первым и последним нечетным пересечением профиля со средней линией.

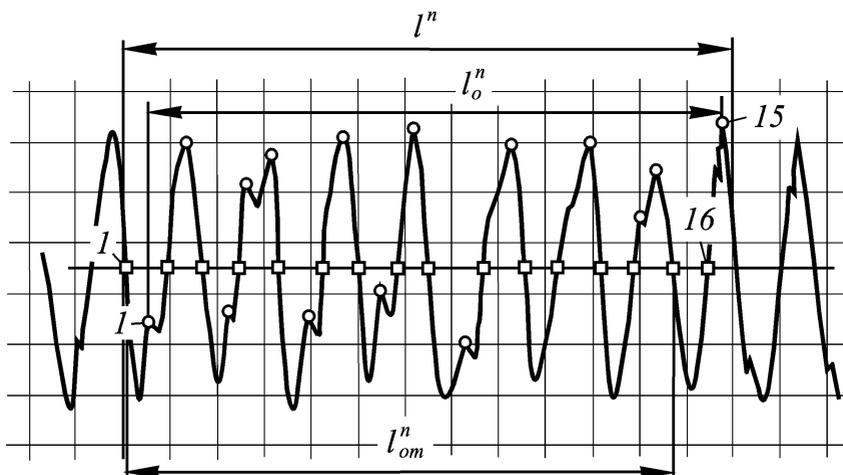


Рис. 67. Обработка профилограммы. Шаговые параметры

Значение параметра, мм находится по формуле

$$S_m = \frac{2l_{om}^n}{(k-1) \cdot \Gamma Y}.$$

где k – число пересечений профиля со средней линией на длине l_{om}^n ,

$$l_{om}^n \leq l^n.$$

8. Значение параметра S , согласно [3], можно определить следующим способом:

– на участке профилограммы, определяемом БД, сосчитать число максимумов профиля (рис. 67);

– измерить длину отрезка средней линии l_o^n , ограниченного первым и последним местными выступами.

Значение параметра, мм находится по формуле

$$S = l_o^n / (n \cdot \Gamma Y).$$

где n – число местных выступов профиля на длине l_o^n .

4.5.3 Статистическая оценка стабильности процесса обработки по параметрам шероховатости

Измерение параметров шероховатости поверхности приборами контактного типа относится к прямым измерениям. Для статистической оценки стабильности процесса механической обработки по параметрам шероховатости выполняется несколько наблюдений (измерений). В данной лабораторной работе приведена методика статистической обработки для анализа результатов прямых измерений параметров шероховатости, соответствующая действующим нормативным документам [4].

Все расчеты, связанные со статистической обработкой результатов наблюдений, могут быть легко выполнены на рабочем листе табличного процессора Microsoft® Excel.

Статистическая обработка результатов измерений осуществляется в следующей последовательности.

1. Определяется число наблюдений, необходимых для проведения статистической обработки.

Величина возможной ошибки в оценке измеренного параметра зависит от числа выполненных наблюдений (объема выборки). При определении минимально необходимого объема выборки следует исходить из цели проводимого измерения. Если наблюдения проводятся с целью оценки математического ожидания параметра, то объем выборки в предположении, что распределение значений параметра подчиняется нормальному закону, определяется по формуле

$$n_g = \frac{\nu^2}{\Delta_x^2} z_{1-\alpha/2}^2,$$

где ν – коэффициент вариации измеряемого параметра, Δ_x – максимальная относительная ошибка при оценке среднего значения, $z_{1-\alpha/2}^2$ – квантиль уровня $P = 1 - \alpha/2$ нормированной нормально распределенной случайной величины.

Для чистовых видов механической обработки (шлифования, чистового точения, чистового фрезерования и т.п.) можно принять

$\nu = 0,1$, для получистовых видов обработки $\nu = 0,15$, для черновой обработки $\nu = 0,2 \dots 0,25$.

Величина максимальной относительной ошибки выбирается в зависимости от требований, предъявляемых к точности оценки. При высокой точности оценки среднего значения обычно принимают $\Delta_{\bar{x}} = 0,2\nu$, при средней точности – $\Delta_{\bar{x}} = 0,4\nu$ и при низкой точности $\Delta_{\bar{x}} = 0,6\nu$. При назначении $\Delta_{\bar{x}}$ необходимо учитывать, что относительная погрешность средства измерения должна быть меньше величины $\Delta_{\bar{x}}$.

Уровень статистической надежности $P = 1 - \alpha/2$, т.е. вероятность непревышения фактической ошибки максимальной, обычно принимают равной 0,95; 0,975 и 0,995 ($\alpha = 0,1; 0,05; 0,01$).

2. Проводится первичная статистическая обработка результатов наблюдений.

На основании выполненных наблюдений составляется выборка (объем выборки $n_g \leq 30$) и для нее определяются выборочные характеристики:

$$\text{выборочное среднее} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_g} x_i}{n_g};$$

выборочное среднее квадратическое (стандартное) отклонение $S = \sqrt{S^2}$,

где $S^2 = \frac{1}{n_g - 1} \sum_{i=1}^{n_g} (x_i - \bar{x})^2$ – выборочная дисперсия;

$$\text{выборочный коэффициент вариации} \quad \nu = \frac{S}{\bar{x}};$$

наибольший x_{\max} и наименьший x_{\min} члены вариационного ряда.

Статистическая гипотеза о нормальном распределении выборки объемом $n_g \leq 15$ не проверяется. При этом определение доверительных границ случайной погрешности результата измерений выполняет-

ся как для подтвержденной гипотезы о нормальном распределении выборки.

Рассеяние экспериментальных данных в основном определяется неоднородностью свойств материалов. В некоторых случаях оно заметно увеличивается вследствие больших погрешностей (ошибок) при выполнении наблюдений или в обеспечении условий испытаний. При измерении шероховатости поверхности причинами рассеяния результатов наблюдений могут быть: смещение образца во время замера, вибрация датчика или электронного блока во время замера, повреждение контролируемой поверхности (глубокие риски) стружкой, элементами крепления (кулачками патрона станка), повреждение контролируемой поверхности во время перемещений и др. В подобных случаях сомнительные результаты исключаются. Для этого вычисляются статистики:

$$u_{\min} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{S} \quad \text{и} \quad u_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S}.$$

Для уровня значимости $\alpha = 0,01$ и объема выборки n определяется критическое значение u_{α} . Если $u_{\min} > u_{\alpha}$ или $u_{\max} > u_{\alpha}$, то выброс неслучаен и результат должен быть исключен из выборки и выборочные характеристики должны быть пересчитаны.

3. Осуществляется определение квантиля измеряемого параметра и доверительного интервала выборочных характеристик.

При выполнении контроля шероховатости поверхности, когда в конструкторской документации параметр шероховатости задан наибольшим значением, определяется квантиль уровня $P = 0,999$ или квантиль уровня $P = 0,998$, который соответствует значению параметра $x = \bar{x} + 3S$.

Пример записи результата измерений: $Ra \leq 1,16$; $P=0,999$ (параметр шероховатости Ra не превышает значения $1,16$ мкм с доверительной вероятностью $0,999$).

При проведении исследований влияния условий обработки на шероховатость поверхности определяется оценка среднего значения.

4.5.4 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе.
2. Изучить конструкцию и принцип работы профилометр-профилографа. Приобрести навыки пользования вышеуказанным средством измерения.
3. Получить у преподавателя контролируемый образец и записать условия его обработки. На каждом образце указаны метод обработки (точение или шлифование) и режимы обработки.

Определить шероховатость поверхности предложенного учебного образца методом сравнения с эталонным образцом. Результат оценки шероховатости образца записать в бланк.

4. По полученному результату оценки шероховатости определить и записать в бланк отчета настроечные параметры для профилометр-профилографа, а именно: ВУ, ГУ, длину трассирования и шаг отсечки. На произвольном участке поверхности образца снять профилограмму, измерить параметры шероховатости R_{\max} , Ra , Rz , R_p , S_m , t_p и записать полученные результаты.

5. По профилограмме образца, используя изложенную выше методику, определить значения параметров шероховатости Rz , R_{\max} , S_m , S , t_p . Полученные значения привести к стандартным значениям и записать в отчёт.

6. Выполнить статистическую оценку стабильности процесса механической обработки по одному из указанных преподавателем параметру шероховатости (R_{\max} , Ra или Rz), для чего: определить количество необходимых наблюдений и осуществить эти наблюдения; определить статистические характеристики выборки для указанного параметра (среднее значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации, уровень параметра при 99% вероятности) и результаты занести в отчёт.

7. Обозначить шероховатость поверхности образца.

8. Оформить бланк отчета по лабораторной работе и ответить на контрольные вопросы, заданные преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Дать определение шероховатости поверхности.
2. Какими параметрами характеризуется шероховатость поверхности?
3. Что такое базовая длина?
4. Назовите параметры шероховатости, определяющие высотные характеристики микронеровностей поверхности.
5. Назовите шаговые параметры шероховатости.
6. Что такое опорная длина профиля?
7. Как осуществляется качественный контроль шероховатости поверхности?
8. Какие методы используются для количественной оценки шероховатости?
9. Как обозначается шероховатость поверхности на чертежах?
10. На каком принципе основана работа профилометр-профилографа?
11. На что оказывает влияние шероховатость поверхности?
12. Назовите единицы измерения параметров шероховатости, определяющих высотные характеристики микронеровностей поверхности.
13. Назовите последовательность указания параметров шероховатости при обозначении ее на чертежах.
14. Какие значения параметра шероховатости указываются на чертежах?
15. В каких случаях значение базовой длины указывается в обозначении шероховатости?

5 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

Зубчатые передачи предназначены для передачи вращательного движения и момента силы с одного вала на другой с заданным соотношением угловых скоростей, т.е. передаточным отношением:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Они могут использоваться для преобразования вращательного движения в поступательное. В зависимости от назначения различают *силовые* и *кинематические* зубчатые передачи. Силовые передачи используются в таких устройствах как лебедки, подъемные механизмы, коробки передач и т.д. Кинематические передачи используются для различных измерений. Различают также тихоходные, среднескоростные и быстроходные зубчатые передачи. В последних линейная скорость может достигать 120 м/с.

Взаимозаменяемость зубчатых колес и передач обеспечивается нормированием параметров зубчатых колес при их изготовлении, а также параметрами сборки при образовании зубчатой передачи. Если зубчатые колеса будут изготовлены очень высокой точности, то это не гарантирует того, что сама передача, состоящая из идеальных зубчатых колес, будет также идеальна по своим характеристикам, потому что при сборке могут возникнуть различные отклонения параметров, связанных с монтажом осей соответствующих зубчатых колес, а следовательно возникает погрешность, связанная с изменением зазоров (межосевого и бокового), по этому нормировать приходится два крупных блока – изготовление каждого колеса и сборки.

Погрешности при изготовлении зубчатых колес вызываются следующими причинами:

1) неточность профиля зубообрабатывающего инструмента (реек, фрез, долбяков);

2) неточность установки на станке, как режущего инструмента так и заготовки;

3) отклонение размеров и физико-механических свойств заготовки.

Совместное действие этих факторов приводит к погрешностям диаметров делительной, основной и начальной окружностей, модуля m , шага по делительной окружности S , ширины зуба S_z и впадины $S_{вп}$ по этой же окружности, высоты h рабочей части поверхности зуба, а также профиля эвольвенты, образующей зуб.

При сборке зубчатой передачи помимо погрешностей изготовления на функции этого узла оказывают влияние следующие *параметры*:

1) *делительное межосевое расстояние*:

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

где d_1 и d_2 есть диаметры делительных окружностей ведущего и ведомого колес соответственно.

2) *радиальный зазор* c – наименьшее расстояние по межосевой линии между окружностью вершин зуба одного колеса и окружностью впадин другого колеса.

3) *боковой зазор* j_n – минимальное расстояние между несоприкасающимися профилями зубьев, находящихся в зацеплении. Боковой зазор определяет свободный поворот одного колеса относительно другого неподвижного колеса.

Ведущее колесо вращается со скоростью ω_1 , диаметр его делительной окружности d_1 . Аналогично ведомое колесо имеет параметры ω_2 и d_2 (рис. 68).

Из вышесказанного понятно, что возникают ситуации, когда приходится нормировать очень много параметров. И естественным в данной ситуации является назначение комплексных допусков. Встает вопрос о их выборе. На сегодняшний день все показатели качества разбивают на четыре группы в зависимости от назначения соответствующей передачи.

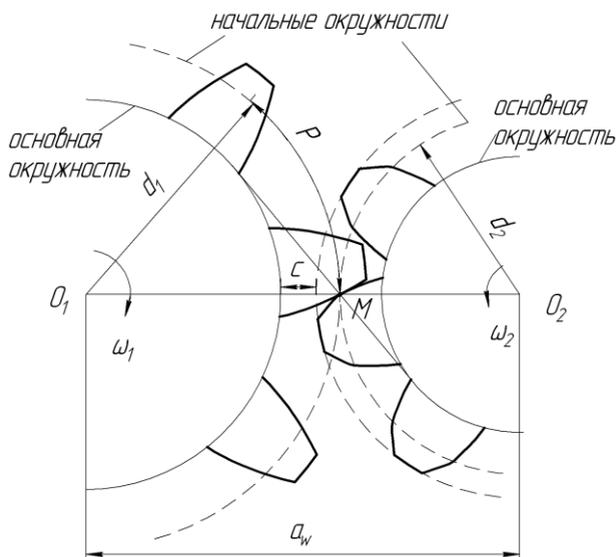


Рис. 68. Основные параметры эвольвентной зубчатой передачи

Эксплуатационные показатели зубчатых колес и передач определяются следующими комплексными показателями:

1) **кинематическая точность**, т.е. точность передачи вращения от ведущего колеса к ведомому. Имеет решающее значение в кинематических передачах.

2) **плавность работы зубчатой передачи**. Особенно важна для быстроходных передач, так как при ее нарушении возникают значительные динамические нагрузки на зубья колес.

3) **полнота контакта зубьев** определяет работоспособность силовых передач.

4) **погрешности**, приводящие к изменению бокового зазора. *Боковой зазор* необходим для обеспечения смазки зубчатых колес, а также для компенсации погрешности изготовления и сборки, температурных компенсаций и деформаций от действия центробежных сил.

Кинематическая точность передачи

В собранной передаче при повороте ведущего колеса с числом зубьев z_1 , на некоторый угол φ_1 ведомое колесо с числом зубьев z_2 должно повернуться на номинальный угол $\varphi_{2н}$, который можно рассчитать по формуле:

$$\varphi_{2н} = \varphi_1 \frac{z_1}{z_2}.$$

Однако из-за погрешности изготовления и сборки ведомое колесо поворачивается на некоторый угол $\varphi_{2д}$, т.е. появляется кинематическая погрешность, равная:

$$F_{кнт} = (\varphi_{2д} - \varphi_{2н}) \frac{d_2}{2}.$$

Выражается эта погрешность в линейных величинах длины дуги делительной окружности ведомого колеса.

В течение поворота зубчатого колеса в передаче кинематическая погрешность меняется по закону изображенному ниже (рис. 69).

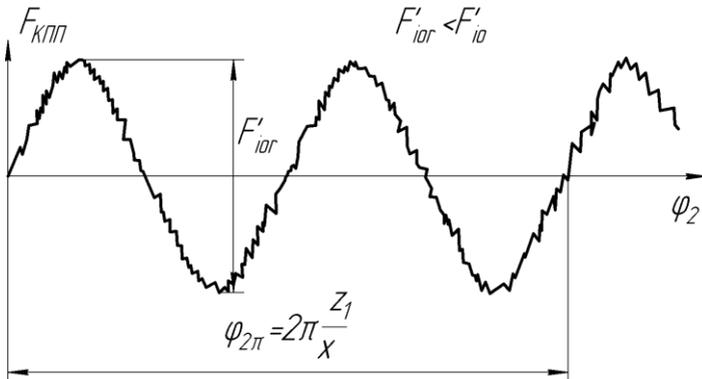


Рис. 69. Зависимость кинематической погрешности $F_{кнт}$ от угла поворота ведомого колеса φ_2

Кинематическая погрешность будет принимать начальные значения через угол:

$$\varphi_2 = 2\pi \frac{z_2}{x},$$

где z_2 – число зубьев меньшего колеса, x – наибольший общий множитель числа зубьев обоих колес.

Комплексным показателем кинематической точности зубчатой передачи является удвоенная амплитуда кинематической погрешности передачи за полный цикл.

В ГОСТах приводятся соответствующие нормы точности по этой погрешности F'_{io} . Колесо считается годным, если выполняется условие $F'_{ior} < F'_{io}$. Индексы здесь означают: i – кинематическая погрешность; o – отношение к передаче; отсутствие нуля означает отношение к каждому из колес; r – максимальное значение соответствующей погрешности.

Кинематическая погрешность колеса $F_{кнк}$ определяется аналогично. Однако вместо парного колеса используются соответствующие эталонные колеса.

Тогда кинематической погрешностью колеса называется разность между действительным и номинальным углами поворота колеса на его рабочей оси ведомого – точным (эталонным), при отсутствии отклонений от параллельности и перекаса вращения осей колес.

Кинематическая погрешность колеса также выражается в линейных величинах длины дуг соответствующей делительной окружности. Колесо считается годным, если выполняется условие того, что максимальная погрешность будет меньше приведенной в ГОСТе допустимой: $F'_{ir} < F'_i$.

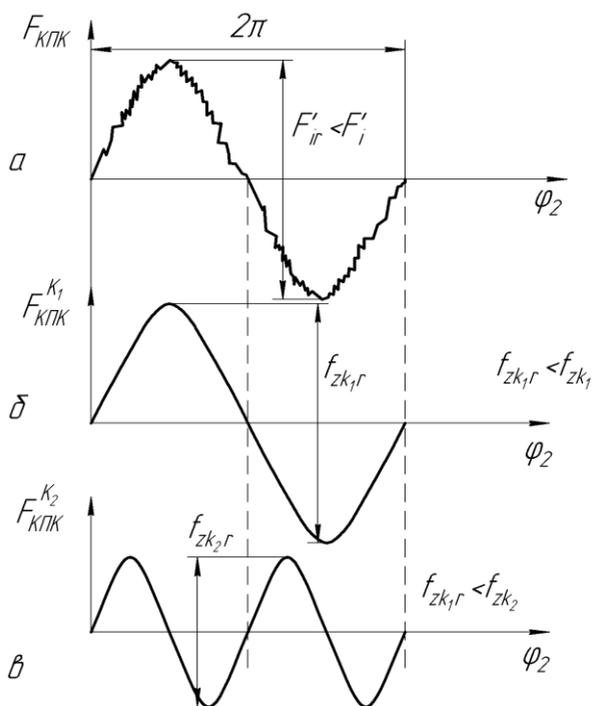


Рис. 70. Зависимость от угла φ_2 : a – показателя кинематической погрешности, δ – показателя плавности для частоты k_1 , β – показателя плавности для частоты k_2

Прибор для измерения кинематических погрешностей (Тайца)

В приборе Тайца используется эталонное ведущее колесо (1), эталонное ведомое колесо (2) и контролируемое ведомое колесо (3) (рис. 71).

При повороте ведущего колеса на угол φ_1 , оба колеса (2) и (3), находящиеся с ним в зацеплении повернутся на разные углы. Колесо (2) на угол $\varphi_{2н}$, а колесо (3) за счет погрешностей изготовления на угол $\varphi_{2д}$. Оба сигнала об этих углах поступают на сумматор (4), на выходе из которого регистрируется кинематическая погрешность колеса (3). Нормируется данная погрешность аналогично кинематической погрешности передачи: $F'_{ir} < F'_i$.

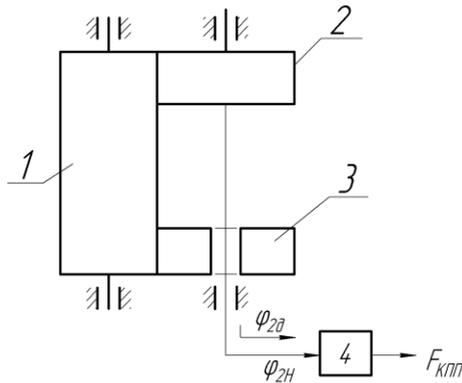


Рис. 71. Прибор Тайца: 1, 2 – эталонные колеса, 3 – контролируемое колесо, 4 – сумматор

Плавность работы передачи

Плавность работы передачи представляет собой часть кинематической погрешности колеса, которая многократно с соответствующей циклической частотой проявляется за один оборот колеса. Плавность работы получают разложением на соответствующие гармоники (ряды Фурье) кинематической погрешности колеса. В результате спектрального анализа можно получить множество гармоник, каждая из которых будет иметь интересующую нас частоту. При обратном сложении этих гармоник можно получить исходную кривую. Плавность работы нормируется циклической погрешностью передачи $f_{zk_{or}}$ и колеса f_{zk_r} . При этом в каждой гармонике $f_{zk_{or}}$ представляет собой удвоенную амплитуду гармонической составляющей с частотой k_i кинематической погрешности колеса (рис. 70).

Нормирование по плавности аналогично соответствующим кинематическим погрешностям, чем больше частота, тем меньше соответствующая норма плавности.

Полнота контакта зубьев в передаче

Долговечность и износостойкость зубчатой передачи зависят от полноты контакта сопряженных боковых поверхностей зубьев колес. При неполном и неровном прилегании зубьев площадь поверхности по которой происходит передача уменьшается, что приводит к неравномерному распределению контактных напряжений и смазки по поверхности контакта.

Суммарным пятном контакта называют часть активной боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания парного колеса, находящегося в зацеплении.

При этом передача должна располагаться на рабочих осях и на нее должна действовать рабочая нагрузка или специально установленная конструктором нагрузка.

Обычно следы прилегания определяются с помощью краски, на одно колеса наносится краска и зубчатая передача проворачивается под заданной нагрузкой на рабочих осях, после этого на колесе остаются соответствующие пятна контакта (рис. 72).

На рисунке изображено колесо, по которому прокатилось парное окрашенное колесо, и появившиеся в результате пятна контакта. Между этими пятнами могут существовать разрывы. c_1, c_2, \dots, c_n – расстояния между разрывами вдоль длины зуба. Среднюю высоту пятна контакта обозначим через h_m . Высоту рабочей поверхности зуба – h_p .

Суммарное пятно контакта оценивают относительной длиной:

$$\frac{a - \sum_{i=1}^n c_i}{b} \cdot 100\%,$$

где b – длина, a – расстояние между крайними точками пятен контакта.

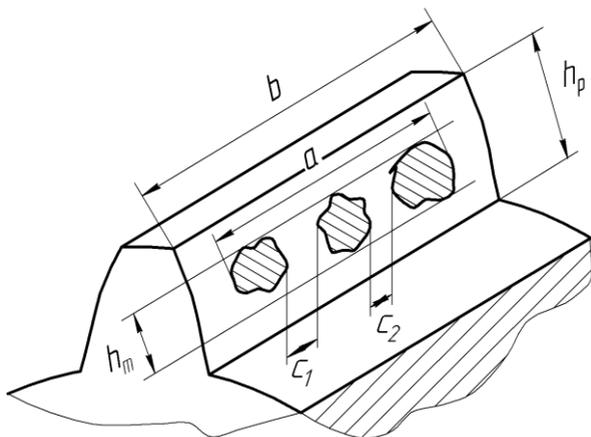


Рис. 72. Параметры суммарного пятна контакта

Разрывы между пятнами контакта (c_i) исключаются. Они учитываются только в том случае, если их величина превышает модуль (m), измеренный в миллиметрах.

Суммарное пятно контакта оценивают также относительной высотой:

$$\frac{h_m}{h_p} \cdot 100\% .$$

По этим формулам определяется годность зубчатого колеса по нормам полноты контакта. Для тяжело нагруженных зубчатых колес эти нормы играют важную роль.

Степени точности зубчатых колес

При построении стандарта на зубчатые колеса ГОСТ 1643-81 использовали принципы:

- 1) обеспечение надежности функционирования зубчатых колес в передаче;
- 2) возможности современных технологий изготовления и измерения зубчатых колес.

В стандартах установлено 12 степеней точности зубчатых колес и передач. Нормируемый модуль лежит в пределах $m = 1 \dots 55$ мм. Диаметр делительной окружности может достигать 6300 мм.

По классам точности колеса разделяются:

- а) 1, 2-й – относятся к перспективным колесам, изготовление таких колес с помощью современных технических средств невозможно.
- б) 3-5-й – используются в измерительных системах.
- в) 4-7-й – в авиационной и ракетно-космической технике.
- г) 6-8-й – общее машиностроение.
- д) 9-10-й – в сельском хозяйстве.
- е) 11-12-й – в неответственных передачах грузовых механизмов.

В зависимости от области применения для зубчатых колес могут назначаться различные степени точности по нормам кинематической точности, плавности и контакта.

Например, если зубчатая передача используется в каких-либо измерительных механизмах, то для нее большое значение играют нормы кинематической точности, нормы плавности и полноты контакта не столь важны, т. к. нагрузки весьма малы и передача работает на низких оборотах. В быстроходных зубчатых передачах определяющее значение играют нормы плавности, потому что при высоких оборотах возрастает риск разрушения передачи. В грузоподъемных передачах основную роль играют нормы полноты контакта зубьев.

При назначении степеней точности накладываются следующие ограничения:

- 1) нормы плавности могут быть не более, чем на 2 степени точнее или на 1 грубее норм кинематической точности.
- 2) нормы полноты контакта зубьев можно назначать по любым стандартам более точным, чем нормы плавности.

Виды сопряжения зубчатых колес

Вид сопряжения зубчатых колес определяет минимальный (гарантированный) боковой зазор (рис. 73).

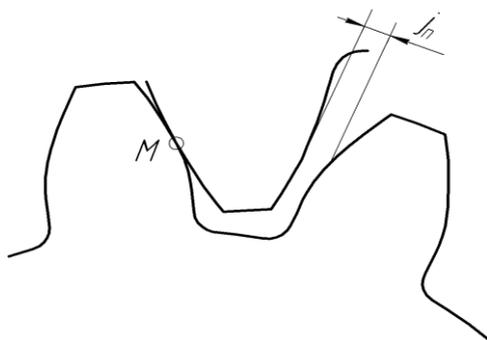


Рис. 73. Боковой зазор в зубчатом зацеплении

Боковой зазор – наименьшее расстояние между нерабочими поверхностями зубьев находящихся в зацеплении.

При этом минимальный боковой зазор определяет люфт колеса, если мы одно колесо законтрим, то наличие бокового зазора определяет на какой угол или расстояние повернется расконтренное колесо, чем меньше боковой зазор, тем точнее передается усилие. Особенно это важно для реверсивных передач. Отсюда возникает ошибочное убеждение – чем точнее передача, тем меньше должен быть боковой зазор. Возникает вопрос о необходимости бокового зазора. Боковой зазор необходим, во-первых, для поступления смазки в пространство между зубьями, во-вторых, поскольку зубчатая передача может работать в разных тепловых условиях, то боковой зазор компенсирует возможные температурные деформации. Стоит отметить, что существуют передачи, которые имеют нулевой боковой зазор, но они, как правило, тихоходные или имеют поверхность, которая смазывается самостоятельным образом (пластмасса, бронза).

Боковой зазор j_{min} , обеспечивает гарантированное поступление смазки и компенсацию возможных температурных деформаций.

Различают 6 видов сопряжений зубчатых колес. Изобразим их на (рис. 74) Верхнюю границу полей допуска показывать не будем, поскольку вид сопряжения определяет только минимальные (гарантированный) боковой зазор.

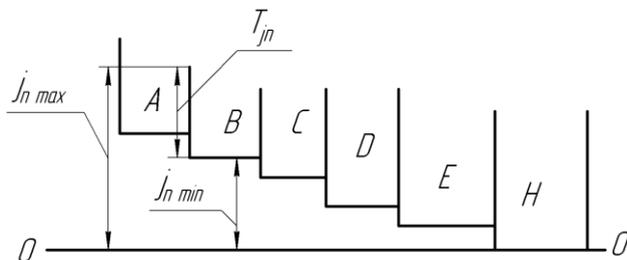


Рис. 74. Виды сопряжений

Колеса с боковым зазором j_{nmin} *B* называются *нормальными*, они обеспечивают компенсацию тепловых деформаций стальных или чугунных колес при $\Delta T = 25^\circ\text{C}$.

Остальные виды сопряжений имеют следующие названия:

A – с увеличенным зазором,

C – уменьшенным зазором,

D – малым зазором,

E – весьма малым зазором,

H – нулевым зазором.

Верхняя граница поля допуска зависит от вида допуска на боковой зазор T_{jn} , этот вид допуска и обозначается перечисленными латинскими буквами: h, d, c, b, a, x, y, z.

Тогда величина максимального бокового зазора j_{nmax} определяется видом допуска на боковой зазор, который в порядке возрастания обозначается следующим образом:

$$j_{nmax} = j_{nmin} + T_{jn}$$

Кроме того, на величину бокового зазора оказывает влияние и точность межосевого расстояния a_w . В порядке снижения точности установлено 6 классов отклонения a_w (I...VI).

Действительный боковой зазор увеличится при увеличении межосевого расстояния и уменьшится при уменьшении, т. е. помимо точности изготовления зубчатых колес, важна и точность сборки зубчатой передачи.

Величина бокового зазора обеспечивается радиальным смещением зуборезного инструмента (рейки) к оси нарезаемого колеса.

Обозначение на чертежах

В обозначениях на чертежах приводятся сведения по всем степеням точности, видам сопряжения допуска и класса межосевого отклонения.

Приведем пример обозначения зубчатой передачи на чертеже:

8-7-7 Ba/VI ГОСТ 1643-81

8 – норма кинематической точности;

7 – норма плавности;

7 – норма полноты контакта;

B – вид сопряжения;

a – вид допуска;

VI – класс отклонения.

Если нормы кинематической точности, плавности и контакта совпадают, а виды допуска, сопряжения и класса отклонения соответствуют рекомендованным ГОСТам, то обозначение упрощается: 7 – С ГОСТ 1643-81

Это обозначение следует читать следующим образом, 7 степень точности по кинематической точности плавности и полноты контакта с видом сопряжения – С видом допуска – с, классом точности – IV по ГОСТу 1643-81.

5.1 Лабораторная работа 6. Контроль параметров зубчатых колес

Цель работы: знакомство с основными положениями стандарта на допуски зубчатых колёс; изучение методики измерения основных параметров, определяющих точность зубчатого колеса; ознакомление со способами и приборами, которые применяют для измерения этих параметров.

5.1.1 Определение кинематической точности колеса

Кинематическая точность зубчатого колеса, как предусмотрено ГОСТ 1643-81 может быть оценена комплексом показателей F_{rr} (радиальное биение зубчатого венца) и F_{vwr} (колебание длины общей нормали).

Радиальное биение измеряется на биениемере (рис. 75).

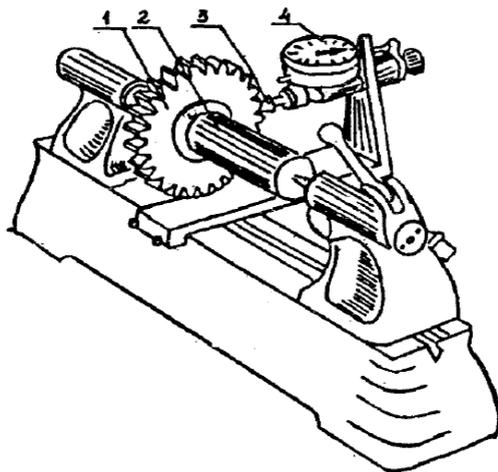


Рис. 75. Схема измерения на биениемере

Контролируемое зубчатое колесо 1, плотно посаженное на коническую оправку 2, устанавливается в центрах прибора. В соответствии с модулем контролируемого колеса выбирается нужный измерительный наконечник 3, который с помощью цангового зажима закрепляется на измерительном стержне прибора. Наконечник вставляется во впадину между зубьями и под действием пружины плотно прижимается к боковым (эвольвентным) профилям зубьев колеса. Дается предварительное напряжение пружине индикатора 4 на один-два оборота большой стрелки индикатора часового типа после чего шкала индикатора поворотом корпуса устанавливается на нуль. Впадина, в которую вставлен наконечник, отмечается на торце колеса. Затем измерительный наконечник поочередно вставляется во все впадины зубчатого колеса и

отклонения большой стрелки от нуля с учётом знака записываются в протокол измерения. Заканчивается измерение на отмеченной впадине, в которой стрелка индикатора должна опять встать на нуль.

Так, как угол при вершине конического измерительного наконечника равен удвоенному углу зацепления колеса ($B = 2\alpha_0$), касание наконечника с зубьями всегда происходит по постоянным хордам, поэтому разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора соответствует величине радиального биения зубчатого колеса.

Длина общей нормали есть расстояние AB между разноименными эвольвентами по прямой, касательной к основной окружности зубчатого колеса (рис. 76).

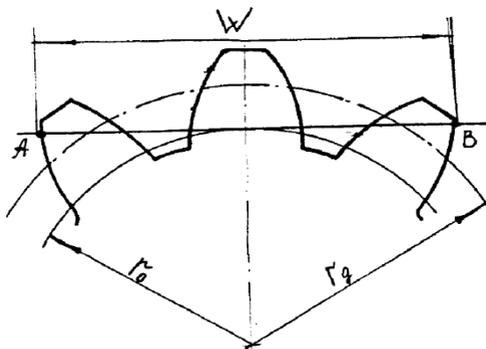


Рис. 76. Длина общей нормали

Номинальное значение общей нормали определяется по формуле

$$W = m \cdot \cos \alpha_0 \left[\frac{\pi}{2} (2n - 1) + z \cdot \operatorname{inv} \alpha_0 \right],$$

где m – модуль зубчатого колеса;

z – число зубьев колеса;

$\operatorname{inv} \alpha_0$ – инволюта угла исходного контура;

α_0 – угол исходного контура (равный углу зацепления);

$n = 0,111z + 0,5$ – число зубьев, охватываемых при измерении (округляется до целого).

Длина общей нормали измеряется с помощью нормалемера (рис. 77), на штанге 1 которого установлены условно-неподвижная губка 3 и подвижная губка 4, соединённая с индикатором часового типа 6. Губка 3 при измерении длины общей нормали остаётся неподвижной, при настройке она может передвигаться посредством рычага 2. Рычаг 5 выводит индикатор из соединения с губкой 4. Винт 7 служит для точной установки большой стрелки индикатора на нуль.

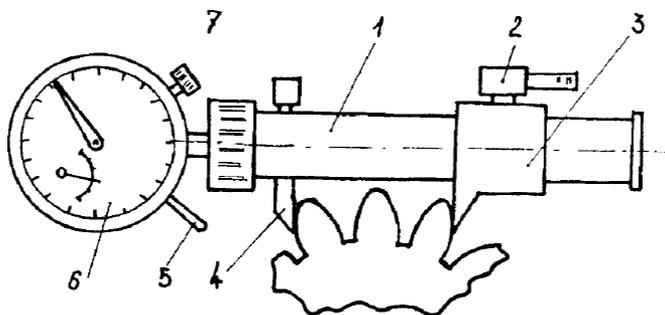


Рис. 77. Измерение длины общей нормали нормалемером

Измерение производится в такой последовательности. Прибор и зубчатое колесо устанавливаются на приспособлении так, чтобы между измерительными губками помещалось найденное число зубьев. Губка 3 перемещается в направлении губки 4 до соприкосновения их с профилями зубьев колеса, о чём свидетельствует начало вращения большой стрелки индикатора, далее даётся натяг 1,5-2 оборота большой стрелки. Покачивая нормалемер относительно измеряемого колеса, находят наименьшее отклонение стрелки индикатора и поворотом винта 7 устанавливают её на нуль. Нажимом на рычаг арретира 5 индикатор выводится из контакта с подвижной губкой 4, затем рычагом 5 губки выводятся из контакта с зубьями зубчатого колеса. Группу зубьев, по которой производилась настройка, необходимо отметить. Несколькими измерениями этой группы зубьев необходимо убедиться в стабильности показаний нормалемера, после чего приступают к измерениям.

Измерения производятся по всей окружности колеса, через каждый зуб, при этом записываются показания индикатора с учётом знака. Из всех полученных параметров выбирают их максимальное W_{max} и минимальное W_{min} значения. Разность этих значений и есть наибольшее колебание длины общей нормали:

$$F_{vwr} = W_{max} - W_{min}.$$

После измерения величины радиального биения $F_{r,r}$ и колебания длины общей нормали F_{vwr} определяется степень кинематической точности зубчатого колеса путём сравнения полученных величин с допусками F_r и F_{vw} , приведёнными в табл. 15. Для этого по таблице находят такую степень точности, для которой

$$F_r \geq F_{r,r} \text{ и } F_{vw} \geq F_{vwr}$$

Т а б л и ц а 15. **Норма кинематической точности**

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль m , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Значение допуска, мкм
3	F'_i	От 1 до 10	См. примечание
	F_r	Св. 2 до 3,55	7
		Св. 3,55 до 6	8
	F_{vw}	От 1 до 10	5
F_C	От 1 до 10	5	
4	F'_i	От 1 до 10	См. примечание
	F_r	Св. 2 до 3,55	11
		Св. 3,55 до 6	12
	F_{vw}	От 1 до 10	7
F_C	От 1 до 10	7	
5	F'_i	От 1 до 16	См. примечание
	F_r	Св. 2 до 3,55	18
		Св. 3,55 до 6	19
	F_{vw}	От 1 до 16	11
	F''_i	Св. 2 до 3,55	25
Св. 3,55 до 6		26	
F_C	От 1 до 16	11	

Продолжение табл. 15

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль m , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Значение допуска, мкм
6	F'_i	От 1 до 16	См. примечание
	F_r	Св. 2 до 3,55	28
		Св. 3,55 до 6	30
	F_{vw}	От 1 до 16	17
	F''_i	Св. 2 до 3,55	40
Св. 3,55 до 6		43	
F_C	От 1 до 16	17	
7	F'_i	От 1 до 25	См. примечание
	F_r	Св. 2 до 3,55	40
		Св. 3,55 до 6	42
	F_{vw}	От 1 до 25	24
	F''_i	Св. 2 до 3,55	56
Св. 3,55 до 6		60	
F_C	От 1 до 25	24	
8	F'_i	От 1 до 56	См. примечание
	F_r	Св. 2 до 3,55	50
		Св. 3,55 до 6	53
		Св. 25 до 40	-
	F_{vw}	От 1 до 56	30
F''_i	Св. 2 до 3,55	70	
	Св. 3,55 до 6	75	
9	F_r	Св. 2 до 3,55	63
		Св. 3,55 до 6	67
		Св. 40 до 56	-
F''_i	Св. 2 до 3,55	90	
	Св. 3,55 до 6	95	
10	F_r	Св. 2 до 3,55	75
		Св. 3,55 до 6	80
	F''_i	Св. 2 до 3,55	105
		Св. 3,55 до 6	110

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль m , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Значение допуска, мкм
11	F_r	Св. 2 до 3,55	95
		Св. 3,55 до 6	105
	F_i''	Св. 2 до 3,55	130
		Св. 3,55 до 6	150
12	F_r	Св. 2 до 3,55	120
		Св. 3,55 до 6	130
	F_i''	Св. 2 до 3,55	170
		Св. 3,55 до 6	180

5.1.2 Определение степени плавности работы зубчатого колеса

Степень плавности работы зубчатого колеса в соответствии с ГОСТ 1643-81 может быть оценена комплексом показателей f_{pbr} (отклонение шага зацепления по основной окружности) и f_{fr} (погрешность профиля зуба).

Шаг зацепления P_0 – это расстояние между одноименными соседними эвольвентами, измеренное по дуге основной окружности или любой касательной к основной окружности.

Шаг зацепления определяется по формуле

$$P_0 = \pi \cdot m \cos \alpha_o,$$

где $\alpha_o = 20^\circ$, тогда $P_0 = 2,951 m$.

Измерение шага зацепления производится на инструментальном микроскопе.

Настройка микроскопа заключается в следующем. Градусную шкалу угломерной головки устанавливают на 0° , при этом продольное и поперечное перемещения стола будут совпадать с направлениями соответственно горизонтальной и вертикальной штриховых линий в окуляре.

Измеряемое колесо кладётся на столик микроскопа или устанавливается на специальной оправке так, чтобы вертикальная штриховая

линия в окуляре проходила касательно к эвольвенте зуба (рис. 78), причём точка касания должна лежать ближе к наружной окружности, но не на закругленной части вершины зуба. Тогда горизонтальная линия в поле зрения окуляра будет линией, касательной к основной окружности. Для этого положения (положение I-I, рис. 78) записывается отсчёт по микровинту продольного перемещения и столик винтом продольного перемещения переводится так, чтобы вертикальная линия окуляра стала касательной к одноименному профилю следующего зуба (положение II-II, рис. 78). Записывается новый отсчёт по микровинту продольного перемещения. Разность двух отсчётов и будет действительной величиной шага зацепления.

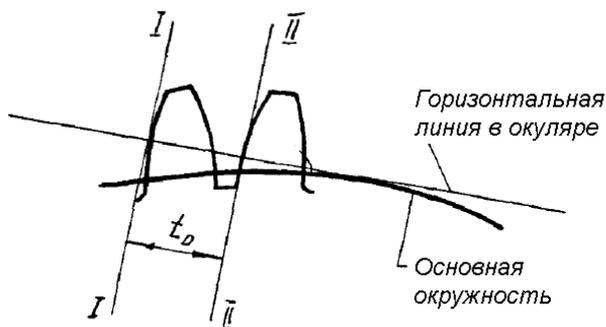


Рис. 78. Измерение основного шага зацепления на инструментальном микроскопе

Измерив один шаг, зубчатого колеса поворачивают вокруг оси и измеряют следующий шаг.

После измерения всех шагов по окружности колеса выбирают их максимальное P_0^{\max} и минимальное P_0^{\min} значения и определяют действительные отклонения:

$$+f_{pbr} = P_0^{\max} - P_0,$$

$$-f_{pbr} = P_0^{\min} - P_0.$$

Погрешность эвольвентного профиля зуба может быть измерена с помощью эвольвентомера МИЗ (рис. 79) со сменным диском, диаметр которого должен быть равен диаметру основной окружности проверяемого колеса.

Перед измерением прибор настраивают так, чтобы при «нулевом» показании индикатора вершина измерительного наконечника лежала на одной вертикальной линии с точкой касания обкаточного диска 2 и линейки 3. Эта настройка производится следующим образом.

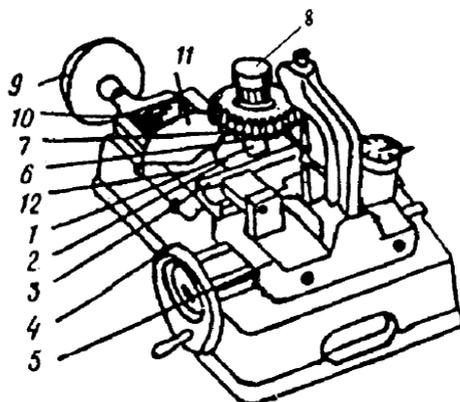


Рис. 79. Общий вид эвольвентомера

На оправку 1 эвольвентомера ставят диск 2 нужного диаметра и закрепляют его гайкой 8.

С помощью маховика 4 приводят в положение, при котором риска на каретке совместится с риской на станине. Между диском 2 и линейкой 3 зажимают настроечный шаблон. Освободив измерительный наконечник 7 в цанговом зажиме 6, выставляют его так, чтобы при повороте вершина касалась плоскости диска. В этом положении измерительный наконечник закрепляют цанговым зажимом. Затем шаблон закрепляют на оправке 1 так, чтобы вершина измерительного наконечника опиралась на радиальную плоскость шаблона.

Путём ряда поворотов установочного шаблона находят такое его положение, при котором перемещение каретки 12 не вызывает отклонения стрелки индикатора. Поворотом шкалы устанавливают индика-

тор на «нуль». Это положение индикатора (с учётом показания малой стрелки) соответствует исходному положению измерительного наконечника перед началом измерения.

При измерении на оправку 1, где установлен обкаточный диск 2, ставят проверяемое колесо и указатель совмещают с нулём шкалы 11. Маховичком 9 перемещают каретку 12 до соприкосновения обкаточного диска с линейкой 3, а затем до полного сжатия пружины 10, следя при этом, чтобы измерительный наконечник 7 свободно вошёл во впадину проверяемого колеса. Поворотом проверяемого колеса индикатор устанавливают в исходное положение (полученное при настройке по шаблону), а колесо закрепляют на оправке гайкой, после чего приступают к измерениям.

Вращая маховичком 4, перемещают каретку 5, а вместе с ней – линейку 3. При этом диск 2 вместе с проверяемым колесом будет катиться по линейке без скольжения и, следовательно, каждая точка рабочей плоскости линейки будет описывать относительно основной окружности проверяемого колеса эвольвенту. Так как при настройке прибора вершина измерительного наконечника была установлена на вертикальной линии, проходящей через точку начального контакта линейки с диском, она (вершина) также будет описывать эвольвенту. Если профиль проверяемого зуба имеет отклонение от теоретической эвольвенты, то индикатор покажет величину этого отклонения.

Погрешность профиля фиксируется через 5^0 угла развёрнутости φ , который отсчитывается по шкале 11. Для наглядности по полученным данным строится действительный профиль зуба, затем полученный профиль сопоставляется с теоретическим (рис. 80).

Разность между максимальным и минимальным отклонениями действительного профиля от теоретической эвольвенты есть величина полной действительной погрешности профиля:

$$f_{fr} = f_{fr}^{\max} - f_{fr}^{\min}.$$



Рис. 80. Схема построения действительного профиля зуба

В результате измерения основного шага и погрешности эвольвентного профиля зуба получено:

$$+ f_{pbr}; - f_{pbr} \text{ и } f_{fr}.$$

На основании этих величин по табл. 16 устанавливается степень плавности измеряемого колеса.

Т а б л и ц а 16. Нормы плавности работы

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль t , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Величина допуска, мкм
3	f_i'	Св. 2 до 3,55	7
		Св. 3,55 до 6	8
	f_{pb}	Св. 2 до 3,55	± 3
		Св. 3,55 до 6	± 3
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 3
		Св. 3,55 до 6	± 3
f_f	Св. 2 до 3,55	4	
	Св. 3,55 до 6	4	
4	f_i'	Св. 2 до 3,55	10
		Св. 3,55 до 6	11
	f_{pb}	Св. 2 до 3,55	± 5
		Св. 3,5 до 6	± 5
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 5
		Св. 3,55 до 6	± 5
f_f	Св. 2 до 3,55	5	
	Св. 3,55 до 6	6	
5	f_i'	Св. 2 до 3,55	14
		Св. 3,55 до 6	16
	f_{pb}	Св. 2 до 3,55	± 7
		Св. 3,55 до 6	± 8
	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 7
		Св. 3,55 до 6	± 8
	f_f	Св. 2 до 3,55	7
		Св. 3,55 до 6	8
f_i''	От 1 до 2	11	
	Св. 2 до 3,55	11	
	Св. 3,55 до 6	13	

Продолжение табл. 16

Степень точности	Обозначение Показателя	Модуль t , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Величина допуска, мкм
6	f_i'	Св. 2 до 3,55	20
		Св. 3,55 до 6	22
	f_{pb}	Св. 2 до 3,55	± 11
		Св. 3,55 до 6	± 12
	f_{pi}	Св. 2 до 3,55	± 12
		Св. 3,55 до 6	± 13
	f_f	Св. 2 до 3,55	9
		Св. 3,55 до 6	10
	f_i''	Св. 2 до 3,55	16
		Св. 3,55 до 6	18
7	f_i'	Св. 2 до 3,55	28
		Св. 3,55 до 6	32
	f_{pb}	Св. 2 до 3,55	± 16
		Св. 3,55 до 6	± 18
	f_{pi}	Св. 2 до 3,55	± 16
		Св. 3,55 до 6	± 18
	f_f	Св. 2 до 3,55	12
		Св. 3,55 до 6	14
	f_i''	Св. 2 до 3,55	22
		Св. 3,55 до 6	25
8	f_i'	Св. 2 до 3,55	38
		Св. 3,55 до 6	45
	f_{pb}	Св. 2 до 3,55	± 22
		Св. 3,55 до 6	± 24
	f_{pi}	Св. 2 до 3,55	16
		Св. 3,55 до 6	19
	f_f	Св. 2 до 3,55	32
		Св. 3,55 до 6	36

Степень точности	Обозначение показателя	Модуль m , мм	Делительный диаметр до 125 мм
			Величина допуска, мкм
9	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 32
		Св. 3,55 до 6	± 36
	f_i''	Св. 2 до 3,55	40
		Св. 3,55 до 6	45
10	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 45
		Св. 3,55 до 6	± 50
	f_i''	Св. 2 до 3,55	50
		Св. 3,55 до 6	56
11	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 63
		Св. 3,55 до 6	± 71
	f_i''	Св. 2 до 3,55	63
		Св. 3,55 до 6	71
12	f_{pt}	Св. 2 до 3,55	± 90
		Св. 3,55 до 6	± 100
	f_i''	Св. 2 до 3,55	80
		Св. 3,55 до 6	90

5.1.3 Определение нормы контакта зубьев

Как уже отмечалось, контакт зубьев может характеризоваться размерами пятна контакта зубьев сопряжённых колёс по высоте и ширине зубьев. Величина пятна контакта определяется по следам прилегания боковой поверхности зубьев к зубьям измерительного колеса при взаимной их обкатке на приборе комплексного двухпрофильного контроля КПД-300 (рис. 81).

Измерительное колесо с числом зубьев z_1 надевают на оправку 3 плавающего суппорта 11 и с помощью рукоятки 12 отводят в крайнее левое положение до упора. Суппорт 5 отводят вправо и на оправку 4 надевают измеряемое колесо с числом зубьев z_2 , предварительно обезжирив и вычистив боковые поверхности зубьев.

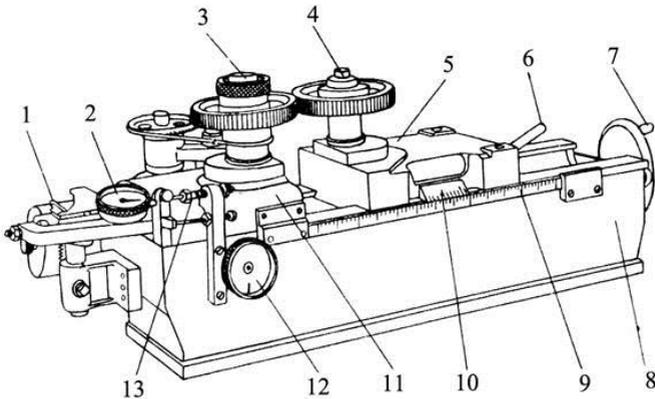


Рис. 81. Общий вид межцентромера КПД -300

По формуле $A = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$ определяют номинальную величину

межцентрового расстояния. Вращая маховичок 7, в зацепление вводят измеряемое колесо с измерительным до тех пор, пока нониус 10 суппорта 5 и линейка 9 не покажут номинальную величину межцентрового расстояния. В этом положении суппорт 5 закрепляется с помощью зажима 6. При лёгком торможении измерительного колеса его поворачивают на 2-3 оборота в правую, а затем в левую сторону. После снятия измеряемого колеса с прибора на правой и левой сторонах зуба просматривают пятна контакта и выбирают зуб с наименьшим пятном контакта.

С помощью штангенциркуля измеряют размеры отпечатка и определяют относительную величину пятна контакта:

$$\frac{h_m}{h_p} 100\% \text{ и } \frac{a-c}{b} 100\%,$$

где h_m – средняя высота пятна контакта;

b – длина зуба колеса;

h_p – рабочая высота зуба для некоррегированных колёс ($h_p = 2m$);

a – расстояние по длине зуба между крайними точками пятна контакта;

c – величина разрыва пятна контакта (учитывается при $(c \geq m)$; если $c < m$, то принимается $c=0$).

Степень точности зубчатого колеса по норме контакта зубьев определяется с помощью табл. 17.

Т а б л и ц а 17. **Нормы контакта зубьев**

Степень точности	Параметр	Размерность	Допустимые значения
3	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 65 по длине не менее 95
4	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 60 по длине не менее 90
5	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 55 по длине не менее 80
6	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 50 по длине не менее 70
7	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 45 по длине не менее 60
8	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 30 по длине не менее 40
9	Суммарное пятно контакта	%	по высоте не менее 20 по длине не менее 25

Кроме определения пятна контакта межцентромер (рис. 81) используется для измерения отклонений межцентрового расстояния зубчатых колес. Для этого на станину 8 устанавливается индикатор 2 и самописец 1. Для тонкой настройки используется гайка 13.

5.1.4 Определение характера сопряжения зубчатого колеса

Характер сопряжения зубчатых колёс (*A, B, C, D, E, H*) в зацеплении определяется величиной гарантированного бокового зазора.

С целью уменьшения толщины зуба относительно её номинального значения и создания таким образом бокового зазора исходный контур (зуборезный инструмент) смещают от его номинального положения в тело (в сторону оси вращения) колеса. Для каждого вида сопряжения предусматриваются (рис. 82) наименьшее дополнительное смещение исходного контура (E_{Hs}) и допуск на величину этого смещения (T_H).

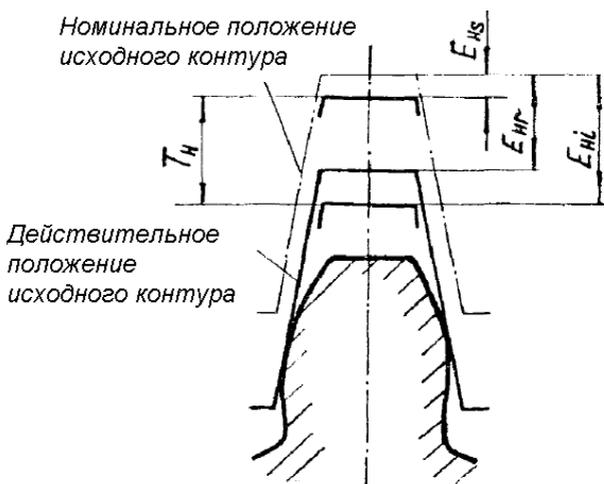


Рис. 82. E_{HR} – фактическое дополнительное смещение исходного контура;
 T_H – допуск на смещение исходного контура; E_{HS} – наименьшее
дополнительное смещение исходного контура (верхнее отклонение);
 E_{HI} – наибольшее дополнительное смещение исходного контура
(нижнее отклонение)

Для обеспечения определенного характера сопряжения необходимо, чтобы дополнительное смещение исходного контура (E_{HR}) было не менее предписанного наименьшего (E_{HS}) и не более суммы ($E_{HS} + E_H$), т.е. $E_{HS} \leq E_{HR} \leq E_{HS} + E_H$.

Для обеспечения определённого характера сопряжения необходимо, чтобы дополнительное смещение исходного контура (E_{HR}), было не менее предписанного наименьшего (E_{HS}) и не более суммы ($E_{HS} + E_H$), т.е. $E_{HS} \leq E_{HR} \leq E_{HS} + E_H$.

Величина смещения исходного контура измеряется с помощью тангенциального зубомера. Перед измерением зубомер настраивается на номинальное положение исходного контура по специальному установочному ролику, диаметр которого зависит от модуля измеряемого колеса (рис. 83).

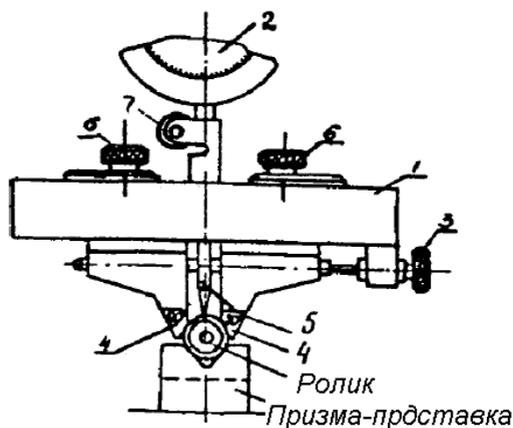


Рис. 83. Настройка тангенциального зубомера

Установочный ролик помещают на призму-подставку и с помощью винта 3 прибор настраивают так, чтобы измерительные губки 4 примерно серединами своих рабочих поверхностей касались ролика. В этом положении измерительные губки закрепляются гайками 6. В отверстие корпуса 1 вставляется индикатор 2, снабженный удлинённым измерительным стержнем 5. После того как измерительный стержень упрётся в ролик и большая стрелка индикатора сделает два полных оборота, индикатор закрепляют винтом 7 и поворотом шкалы устанавливают на нуль. Путём ряда пробных установок на ролик необходимо убедиться в стабильности показаний прибора.

Пронумеровав зубья колеса, зубомер накладывают на первый зуб и, покачивая его, определяют максимальное отклонение стрелки индикатора. Это отклонение и является величиной дополнительного смещения исходного контура (E_{Hr}) от его номинального положения, если окружность выступов не имеет радиального биения и диаметр её выполнен точно по номинальному размеру. Однако, так, как радиальное биение окружности выступов зубьев, которая является базой, и погрешность её диаметра вносят соответствующие ошибки в показания зубомера, то эти ошибки должны быть учтены.

Действительная величина дополнительного смещения исходного контура может быть вычислена по формуле

$$E_{Hr} = E_{Hr \text{ изм}} - \frac{\Delta D_e}{2} - e_z;$$

где $E_{Hr \text{ изм}}$ – измеренная величина дополнительного смещения исходного контура;

ΔD_e – отклонение действительного диаметра окружности выступов зубьев колеса от его номинального размера;

$$\Delta D_e = D_{e0} - D_e;$$

D_{e0} – диаметр зубчатого колеса, получаемый измерением с помощью микрометра,

$$D_e = m(z+2);$$

e_z – радиальное смещение окружности выступов для измеряемого зуба.

На практике можно считать, что радиальные смещения окружностей выступов у диаметрально противоположных зубьев равны по абсолютной величине и противоположны по знаку, поэтому величину e_z определяют следующим образом. В центры биениемера устанавливается оправка с контролируемым колесом. Измерительный стержень индикатора с некоторым натягом ставят на окружность выступов зуба (желательно с наибольшим радиальным смещением) и поворотом шкалы индикатор настраивают на нуль. Далее зубчатое колесо поворачивают на 180° и определяют показание индикатора на диаметрально противоположном зубе. В этом положении шкалу индикатора поворачивают так, чтобы стрелка показала половину зафиксированного отклонения. Это и есть действительное смещение зуба. После такой настройки индикатор при постановке его измерительного стержня на любой зуб будет сразу показывать радиальное смещение e_z этого зуба.

Результаты измерения $E_{Hr \text{ изм}}$, ΔD_e и e_z по всей окружности колеса регистрируют в протоколе.

Из всех полученных значений $E_{Hr \text{ изм}}$ выбирают минимальное и максимальное и по ним рассчитывают E_{Hr}^{\min} и E_{Hr}^{\max} , учитывая величину

e_z соответствующих зубьев и ΔD_e . Для степени точности которая была найдена по нормам плавности, устанавливают вид сопряжения (табл. 18). При этом необходимо для данной степени точности найти такой вид сопряжения, для которого: $E_{Hs} \leq E_{Hr}^{\min}$.

Вид допуска на боковой зазор определяют (табл. 19) в зависимости от величины радиального биения зубчатого венца $F_{r\gamma}$ при

$$T_H \geq E_{Hr}^{\max} - E_{Hr}^{\min}.$$

Т а б л и ц а 18. Нормы бокового зазора (показатель E_{Hs} . мкм)

Вид Сопряжения	Степень точности по нормам плавности	Делительный диаметр, мм	
		Св. 80 до 125	Св. 125 до 180
<i>H</i>	3-6	14	16
	7	15	18
<i>E</i>	3-6	35	40
	7	40	45
<i>D</i>	3-6	55	63
	7	60	70
	8	65	75
	3-6	85	100
<i>C</i>	7	95	110
	8	105	120
	9	110	130
	3-6	140	160
	7	150	170
<i>B</i>	8	170	190
	9	180	200
	10	200	220
	3-6	220	250
	7	240	280
	8	260	300
	9	280	320
<i>A</i>	10	300	340
	11	320	380
	12	360	420

Пример. Измерение зубчатого колеса с $D = 100$ мм, $t = 4$ мм получили: $F_{r r} = 42$ мкм; $F_{v w r} = 21$ мкм; $+f_{p b r} = +20$ мкм; $-f_{p b r} = -10$ мкм; $f_{f r} = 21$ мкм, суммарное пятно контакта по высоте – 46%, по длине – 55%; $E_{Hr}^{\min} = 110$ мкм; $H_{Hr}^{\max} = 190$ мкм.

Необходимо определить нормы точности, вид сопряжения и вид допуска бокового зазора.

Т а б л и ц а 19. Нормы бокового зазора (T_H – допуск на смещение исходного контура, мкм)

Вид сопряжения	Вид допусков бокового зазора	Допуск на радиальное биение зубчатого венца F_r , мкм							
		Св. 80 до 100	Св. 100 до 125	Св. 125 до 160	Св. 160 до 200	Св. 200 до 250	Св. 250 до 320	Св. 320 до 400	Св. 400 до 500
		H, E	h	120	140	170	220	260	340
D	d	150	180	220	280	340	420	530	630
C	c	200	220	280	360	420	530	670	850
B	b	240	280	360	420	530	670	850	1060
A	a	300	360	450	560	670	850	1060	1320
-	x	360	450	560	680	850	1060	1320	1600
-	y	450	560	680	850	1060	1320	1600	2000
-	z	560	680	850	1060	1320	1600	2000	2500

По табл. 15 находим такую степень кинематической точности зубчатого колеса, для которой $F_r \geq F_{r r}$ и $F_{v w} \geq F_{v w r}$. Измеренное колесо отвечает норме кинематической точности 7-й степени.

По табл. 16 устанавливаем норму плавности зубчатого колеса. При этом необходимо, чтобы

$$+f_{r b} \geq +f_{p b r}; -f_{p b} \geq -f_{p b r}; f_f \geq f_{f r}$$

Такому условию соответствует норма плавности 8-й степени.

По табл. 17 определяем, что норма контакта зубьев соответствует 8-й степени.

По табл. 18 находим, что при 8-й степени по нормам плавности наименьшему смещению исходного контура $E_{Hr}^{\min} = 110$ мкм соответствует вид С.

Из табл. 19 определяем, что разность между наибольшим и наименьшим смещением исходного контура, равная 80 мкм при радиальном биении зубчатого венца $F_{r,r} = 42$ мкм, меньше допуска С на смещение исходного контура, т.е. $E_{Hr}^{\max} - E_{Hr}^{\min} < T_H$, или $190 - 100 < 110$.

Таким образом, после всех измерений установлено, что колесо, параметры которого приведены в примере, соответствует нормам: 7-8-8-С ГОСТ 1643-81.

5.2 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе.
2. Изучить конструкцию и принцип работы биениемера, нормалемера, эвольвентомера и тангенциального зубомера. Приобрести навыки пользования вышеуказанными средствами измерения.
3. Получить у преподавателя контролируемый образец и записать условия его обработки. На каждом образце указан модуль зубчатого колеса.
4. Определить параметры зубчатого колеса на каждом зубе. Результат оценки записать в бланк используя данные таблиц.
5. Записать условное обозначение согласно примеру.

Контрольные вопросы

1. В чем причины возникновения погрешностей зубчатых колес при изготовлении?
2. Какие параметры оказывают влияние на функцию зубчатых передач?
3. В чем заключается физический смысл кинематической точности и возникновения кинематической погрешности?

4. В чем заключается нормирование точности плавности работы?
5. Что называют суммарным пятном контакта?
6. Степени точности зубчатых колес.
7. Виды сопряжения зубчатых колес.
8. Минимальный боковой зазор и его функция.
9. Принцип действия биениемера.
10. Принцип действия нормалемера.
11. Принцип действия эвольвентомера.
12. Принцип действия тангенциального зубомера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкин, И.М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости): учеб. пособие / И.М. Белкин. – М.: Машиностроение, 1992.
2. Васильев, А.В. Основы метрологии и технические измерения: учеб. пособие / А.В. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988.
3. Методика выполнения измерений параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789-73 при помощи приборов профильного метода: МИ 41-75. – М.: Изд-во стандартов, 1975.
4. Методические указания. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления результатов измерений: МИ 1317-86. – М.: Изд-во стандартов, 1975.
5. Мухин, В.С. Модифицирование поверхности деталей ГТД по условиям эксплуатации / В.С. Мухин, А.М. Смыслов, С.М. Боровский. – М.: Машиностроение, 1995.
6. Никифоров, А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учеб. пособие / А.Д. Никифоров. – М.: Высшая школа, 2000.
7. Общетехнический справочник / [Е.А. Скороходов и др.]; под общ. ред. Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1990.
8. Попов, И.Г. Основы метрологии и технические измерения: учеб. пособие / И.Г. Попов, Д.Л. Скуратов, Ю.А. Шабалин. – Самара: САИ, 1997.
9. Тарковский, Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов / Д.Ф. Тарковский, А.С. Ястребов. – М.: Высшая школа, 2001.
10. Торопов, Ю.А. Припуски, допуски и посадки гладких цилиндрических соединений. Припуски и допуски отливок и поковок: справочник / Ю.А. Торопов. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2004.
11. Цитович, Б.В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: лаб. практикум / Б.В. Цитович, В.Л. Соломахо, Л.Д. Ковалев. – Минск: Выш. шк., 1987.
12. Якушев, А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1986.

Учебное издание

*Буланова Екатерина Александровна
Скуратов Дмитрий Леонидович
Рязанов Александр Ильич
Первышин Александр Николаевич
Бурмистров Евгений Васильевич
Шабалин Юрий Александрович*

**НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Лабораторный практикум

Редактор И.И. Спиридоновой
Компьютерная вёрстка И.И. Спиридоновой

Подписано в печать 20.11.2018. Формат 60 × 84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 10,5.
Тираж 25 экз. Заказ . Арт. – 22(Р4П)/2018.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Изд-во Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.