

**А. Н. Марков, В. А. Марков
В. А. Соколова, Ю. И. Беленький**

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И СЕРТИФИКАЦИЯ**

**ДОПУСКИ, ПОСАДКИ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2026**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики**

**А. Н. Марков, В. А. Марков
В. А. Соколова, Ю. И. Беленький**

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Учебное пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2026

УДК 006.9(075.8)

ББК 30.10я73

М 54

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета

С. В. Алексеева;

кандидат технических наук, доцент Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета технологий и дизайна

И. В. Ключикин

М 54 Метрология, стандартизация и сертификация. Допуски, посадки и технические измерения: учебное пособие / А. Н. Марков, В. А. Марков, В. А. Соколова, Ю. И. Беленький. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2026. — 82 с.

ISBN 978-5-91646-488-7

Учебное пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация. Допуски, посадки и технические измерения» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», профиль «Реинжиниринг технологического оборудования».

В учебном пособии изложены основные принципы прикладной метрологии при производстве изделий, выбор допусков и посадок, а также теория и практическое применение расчета размерных цепей.

Данное учебное пособие может быть рекомендовано для самостоятельной работы магистров направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», профиль «Технологические процессы и оборудование целлюлозно-бумажного производства».

Научная специальность 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины».

УДК 006.9(075.8)

ББК 30.10я73

ISBN 978-5-91646-488-7

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2026

© Марков А. Н., Марков В. А.,
Соколова В. А., Беленький Ю. И.,
2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ	6
1.1. Точность и взаимозаменяемость	6
1.2. Основные понятия и определения	7
1.3. Назначение посадок	18
1.4 Примеры расчета посадок в сопряжениях	19
Задание	20
Контрольные вопросы	20
2. ДОПУСКИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ	21
2.1. Нормативные документы на допуски формы и расположения поверхностей	21
2.2. Влияние отклонений формы и расположения поверхностей на качество изделий	21
2.3. Геометрические параметры деталей. Основные понятия и определения	22
2.4. Отклонения и допуски формы	23
2.5. Отклонения и допуски расположения поверхностей	25
2.6. Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей	31
2.7. Зависимые и независимые допуски	34
2.8. Указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах	35
Задание	38
Контрольные вопросы	38
3. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ	39
3.1. Основные понятия и определения шероховатости поверхности деталей	39
3.2. Механизм возникновения шероховатости поверхности	40
3.3 Методы определения параметров шероховатости поверхности	41
3.4. Обозначение параметров шероховатости поверхности	43
3.5. Назначение параметров шероховатости поверхности деталей по допуску	43
3.6. Правила обозначения шероховатости поверхности на чертежах	48
Задание	50
Контрольные вопросы	50
4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ	51
4.1. Концевые меры длины	51
4.2. Измерение размеров деталей при помощи штангенинструментов	56
4.3. Измерение размеров деталей при помощи микрометрических инструментов	59
4.4. Измерения размеров деталей индикаторным нутромером	62
4.5. Измерение размеров индикаторной скобой	64
4.6. Калибры	65
4.7. Выбор измерительных средств в зависимости от точности измерений	75
Задание	78
Контрольные вопросы	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	82

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие посвящено ключевым разделам прикладной метрологии, стандартизации и сертификации, а именно: нормированию точности геометрических параметров деталей машин. Точность изготовления является одним из главных факторов, определяющих качество, надежность и долговечность продукции машиностроения. Именно соблюдение установленных норм точности обеспечивает возможность беспригоночной сборки узлов и агрегатов, что лежит в основе современного промышленного производства.

Цель пособия – сформировать у студентов системное понимание принципов обеспечения взаимозаменяемости деталей, освоить методики расчета и выбора допусков и посадок, а также познакомиться с основами технических измерений. Материал ориентирован на практическое применение знаний при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также в дальнейшей профессиональной деятельности.

Пособие состоит из четырех разделов, каждый из которых охватывает законченный блок вопросов, необходимых для грамотного конструирования и контроля деталей.

Первый раздел закладывает фундаментальную базу. В нем рассматриваются основные понятия и определения в области допусков и посадок согласно ГОСТ 25346-2013: вал, отверстие, номинальный и предельные размеры, отклонения, допуск и качество. Подробно разбираются три группы посадок (с зазором, с натягом и переходные), а также системы отверстия и вала. Приводятся практические примеры расчета предельных размеров и анализа посадок в сопряжениях, что позволяет перейти от буквенно-цифровых обозначений на чертеже к конкретным числовым значениям.

Второй раздел посвящен более тонким аспектам точности – допускам формы и расположения поверхностей. В реальных условиях изготовления детали всегда имеют отклонения от идеальной геометрической формы и погрешности взаимного расположения. В данном разделе рассматривается влияние этих отклонений на эксплуатационные свойства изделий, классифицируются виды допусков формы, расположения и суммарных допусков, разъясняется различие между зависимыми и независимыми допусками. Приводятся правила нанесения условных обозначений на чертежах в соответствии с Единой системой конструкторской документации.

Третий раздел раскрывает понятие шероховатости поверхности – совокупности микронеровностей, образующих рельеф обработанной детали. Рассматриваются механизмы образования шероховатости при различных видах обработки, основные параметры ее оценки (среднее арифметическое отклонение профиля R_a и высота неровностей по десяти точкам R_z), а также методы контроля – как инструментальные (профилографы, профилометры), так и доступные в производственных условиях (сравнение с образцами). Отдельное внимание уделяется назначению параметров шероховатости в зависимости от

допуска размера и правилам их обозначения на чертежах, включая указание вида обработки и направления неровностей.

Четвертый раздел знакомит с техническими средствами измерений, применяемыми в машиностроении. Рассматриваются плоскопараллельные концевые меры длины (КМД) как эталонная база, штангенинструменты (штангенциркули, глубиномеры, рейсмасы) и микрометрические инструменты (гладкие микрометры, нутромеры, глубиномеры) – их устройство, принцип действия и приемы работы. Подробно описаны индикаторные приборы относительного метода (нутромеры и скобы) и калибры – специальные бесшкальные средства контроля, широко применяемые в серийном производстве. Заканчивается пособие важным разделом о выборе измерительных средств исходя из требуемой точности измерений, регламентируемой ГОСТ 8.051-81.

Материал пособия построен по принципу «от теории к практике». Каждый раздел сопровождается наглядными схемами, иллюстрациями и, что особенно важно, конкретными примерами расчетов. Для закрепления материала в конце каждой главы приведены контрольные вопросы, а также самостоятельные задания по преобразованию буквенно-цифровых обозначений, расчету посадок и назначению шероховатости, что позволяет студенту проверить собственное понимание изученного материала.

Освоение содержания пособия позволит будущему специалисту уверенно читать и составлять чертежи, обоснованно назначать требования к точности изготовления деталей и правильно выбирать средства их контроля, то есть владеть теми базовыми компетенциями, которые являются основой инженерной деятельности в любой отрасли машиностроения.

1. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

1.1. Точность и взаимозаменяемость

Точность – это степень соответствия изготовленных изделий заранее установленным параметрам, задаваемым чертежом, техническими условиями и стандартами. Точность определяет такие показатели качества, как показатели назначения, показатели надежности, показатели технологичности и др. Нормирование точности изготовления обеспечивает взаимозаменяемость деталей, узлов и агрегатов.

Взаимозаменяемость – свойство деталей и сборочных единиц изделий, независимо изготовленных с заданной точностью обеспечивать возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте) сопрягаемых деталей в сборочные единицы, а сборочных единиц – в изделия при сохранении всех требований, предъявляемых к работе узла, агрегата и конструкции в целом. Указанные свойства изделий возникают в результате осуществления научно-технических мероприятий, объединяемых понятием «принцип взаимозаменяемости».

Принцип взаимозаменяемости – это комплекс научно-технических исходных положений, выполнение которых при конструировании, производстве и эксплуатации обеспечивает взаимозаменяемость деталей, сборочных единиц и изделий. Различают полную, неполную, внешнюю и внутреннюю взаимозаменяемость.

Полная взаимозаменяемость обеспечивается при выполнении геометрических, электрических и других параметров деталей с точностью, позволяющей производить сборку любых сопрягаемых деталей и составных частей без какой бы то ни было дополнительной их обработки, подбора и регулирования, и получать изделие требуемого качества.

Достоинства полной взаимозаменяемости следующие:

- упрощение процесса сборки (сборка сводится к простому соединению деталей рабочими преимущественно невысокой квалификации);
- возможность точно нормировать процесс сборки во времени и применять поточный метод сборки;
- создание условий для автоматизации процесса сборки;
- упрощение ремонта изделий.

Полную взаимозаменяемость экономически целесообразно применять для деталей, изготовленных с допусками не выше 6-го квалитета и состоящих из небольшого количества деталей.

Неполная взаимозаменяемость может осуществляться по отдельным геометрическим или другим параметрам, при этом допускается групповой подбор деталей (селективная сборка), применение компенсаторов, регулировка положений элементов, пригонка и другие дополнительные операции.

Внешняя взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость покупных изделий и сборочных единиц по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей.

Например, в подшипниках качения внешнюю взаимозаменяемость обеспечивают по диаметрам наружного и внутреннего колец подшипника.

Внутренняя взаимозаменяемость распространяется на детали, составляющие отдельные узлы или составные части, входящие в изделие. Например, в подшипниках качения внутренней взаимозаменяемостью обладают тела качения, которые используются для разных типоразмеров подшипников.

В Российской Федерации в настоящее время действуют основные нормы взаимозаменяемости (ОНВ), которые базируются на стандартах и рекомендациях международной организации по стандартизации (International Standard Organisation – ISO).

ОНВ включают системы допусков и посадок на гладкие цилиндрические поверхности, резьбы, зубчатые передачи, угловые и конусные детали, шлицевые, шпоночные и другие соединения.

При конструировании определяются линейные и угловые размеры детали, характеризующие ее величину, форму, жесткость и технологичность изготовления. На чертеже должны быть проставлены все размеры, необходимые для изготовления детали и ее контроля.

1.2. Основные понятия и определения

Основные термины и определения представлены ГОСТ 25346-2013 (ISO 286 – 1:2010) «Основные нормы взаимозаменяемости».

Настоящий стандарт распространяется на гладкие элементы деталей, цилиндрические и ограниченные параллельными плоскостями, а также на образованные ими посадки.

ГОСТ 25346-2013 устанавливает систему допусков ИСО на линейные размеры таких геометрических элементов, как цилиндр и две параллельные противоположащие плоскости. Стандарт также содержит термины и определения, относящиеся к системе допусков.

Вал – термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные – вниз.

Основной вал – вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.

Размер – это числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. п.) в выбранных единицах измерения. По назначению различают размеры, определяющие величину или форму детали, сборочные, присоединительные, габаритные, технологические и другие. Для обеспечения взаимозаменяемости деталей и узлов наибольшее значение имеют размеры номинальные, действительные и предельные.

Номинальный размер – размер геометрического элемента идеальной формы, определяемый чертежом, относительно которого определяются отклонения.

Для отверстия номинальный размер обозначается D , для вала – d . Номинальный размер определяется исходя из функционального назначения детали или узла, он указывается на чертеже и служит началом отклонений.

Номинальный размер соединения – это размер общий для деталей, составляющих соединение.

Действительный размер – размер элемента, установленный измерением с допускаемой точностью.

Предельные размеры – предельно допустимые размеры размерного элемента. Большой из двух предельных размеров – верхний предельный размер (D_{max} , d_{max}), меньший – нижний предельный размер (D_{min} , d_{min}).

Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется *допуском размера* (TD , Td).

$$TD = D_{max} - D_{min} \quad (1.1)$$

$$Td = d_{max} - d_{min} \quad (1.2)$$

Допуск T – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями;

Стандартный допуск IT – любой из допусков, устанавливаемых данной системой допусков и посадок.

Допуск является мерой точности размера. Допуск всегда положителен и отличен от нуля. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали, тем меньше допускается колебание действительных размеров деталей.

Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера.

Отклонение – разность между значением и опорным значением. Для отклонений размеров опорным значением является номинальный размер.

Предельное отклонение – верхнее предельное отклонение или нижнее предельное отклонение от номинального размера. Предельные отклонения могут принимать любые значения: положительные, отрицательные или равные нулю.

Верхнее отклонение (ES, es) – алгебраическая разность между верхним предельным размером и номинальным размером:

$$ES = D_{max} - D \text{ и } es = d_{max} - d \quad (1.3)$$

Нижнее предельное отклонение (EI, ei) – алгебраическая разность между нижним предельным размером и номинальным размером:

$$EI = D_{min} - D \text{ и } ei = d_{min} - d \quad (1.4)$$

Основное отклонение – предельное отклонение, определяющее расположение интервала допуска относительно номинального размера.

Пределы допуска – установленные значения, определяющие верхнюю и нижнюю границы допустимых значений.

Интервал допуска – совокупность значений размера между пределами допуска, включая эти пределы.

По номинальному размеру и отклонениям можно определить соответствующие предельные размеры:

$$D_{max} = D + ES \quad (1.5)$$

$$D_{min} = D + EI \quad (1.6)$$

$$d_{max} = d + es \quad (1.7)$$

$$d_{min} = d + ei \quad (1.8)$$

Для упрощения допуски графически изображают в виде схемы расположения интервалов допусков (рис. 1.1.).

Квалитет – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров.

Соединение – две или несколько подвижно или неподвижно сопрягаемых деталей. Поверхности, по которым происходит соединение деталей, называют сопрягаемыми. Остальные поверхности называют несопрягаемыми или свободными.

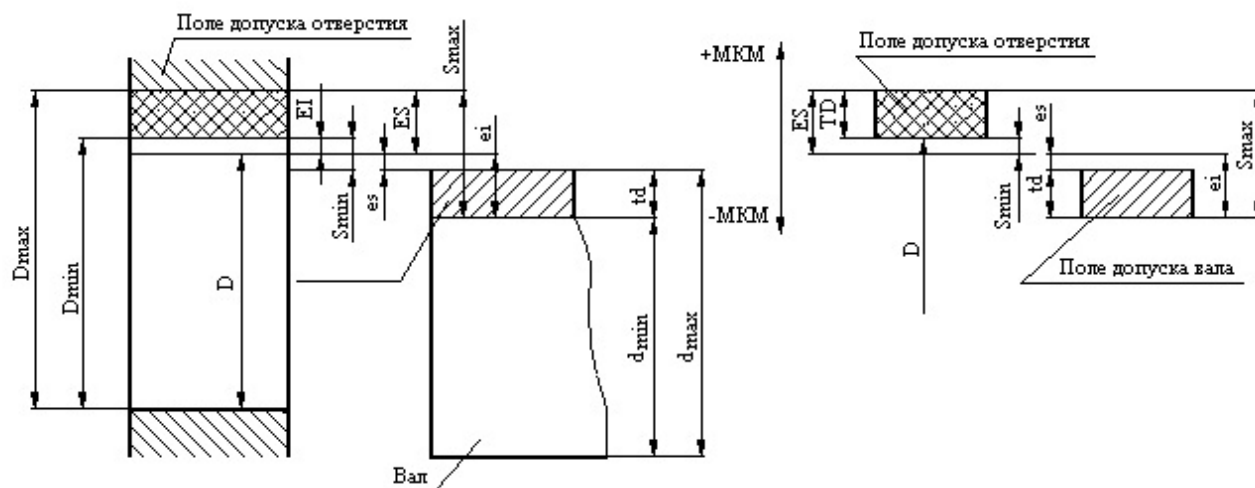


Рисунок 1.1. Графическое изображение допусков отверстия и вала

По форме различают следующие сопрягаемые поверхности:

- гладкие цилиндрические;
- гладкие конические;
- плоские (шпоночные);
- резьбовые;
- зубчатые цилиндрические;
- зубчатые конические;
- сферические.

По степени свободы взаимного перемещения сопрягаемых поверхностей различают соединения:

- неподвижные неразъемные (сварка, клепка, натяг);
- неподвижные разъемные (соединения, в которых перемещение одной детали относительно другой осуществляется только при регулировке или разборке узла);
- подвижные (в которых одна деталь перемещается относительно другой в определенных направлениях).

В зависимости от эксплуатационных требований сборку соединений осуществляют с различными посадками.

Посадка – характер соединения двух деталей (вала и отверстия), определяемый разностью их размеров до сборки. Тип посадки определяется величиной и взаимным расположением полей допусков сопрягаемых поверхностей отверстия и вала.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала различают три группы посадок:

- посадки с зазором;
- посадки с натягом;
- переходные посадки.

Зазор – разность между размерами отверстия и вала до сборки, если размер отверстия больше размера вала:

$$S = D - d \cap D > d \quad (1.9)$$

Посадка с зазором – посадка, при которой всегда образуется зазор в соединении, т. е. нижний предельный размер отверстия больше верхнего предельного размера вала или равен ему. Посадка с зазором характеризуется максимальным и минимальным зазорами:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (1.10)$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (1.11)$$

При графическом изображении посадки с зазором интервал допуска отверстия расположен над интервалом допуска вала (рис. 1.2).

Натяг – разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия:

$$N = d - D \cap d > D \quad (1.12)$$

Посадка с натягом – посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т. е. верхний предельный размер отверстия меньше нижнего предельного размера вала или равен ему.

Посадка с натягом характеризуется максимальным и минимальным натягами:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI \quad (1.13)$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = ei - ES \quad (1.14)$$

При графическом изображении посадки с натягом интервал допуска отверстия расположен ниже интервала допуска вала (рис. 1.2.).

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении. Переходная посадка характеризуется максимальным зазором и максимальным натягом, формулы (1.10) и (1.13). При графическом изображении переходной посадки интервалы допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично (рис. 1.2.).

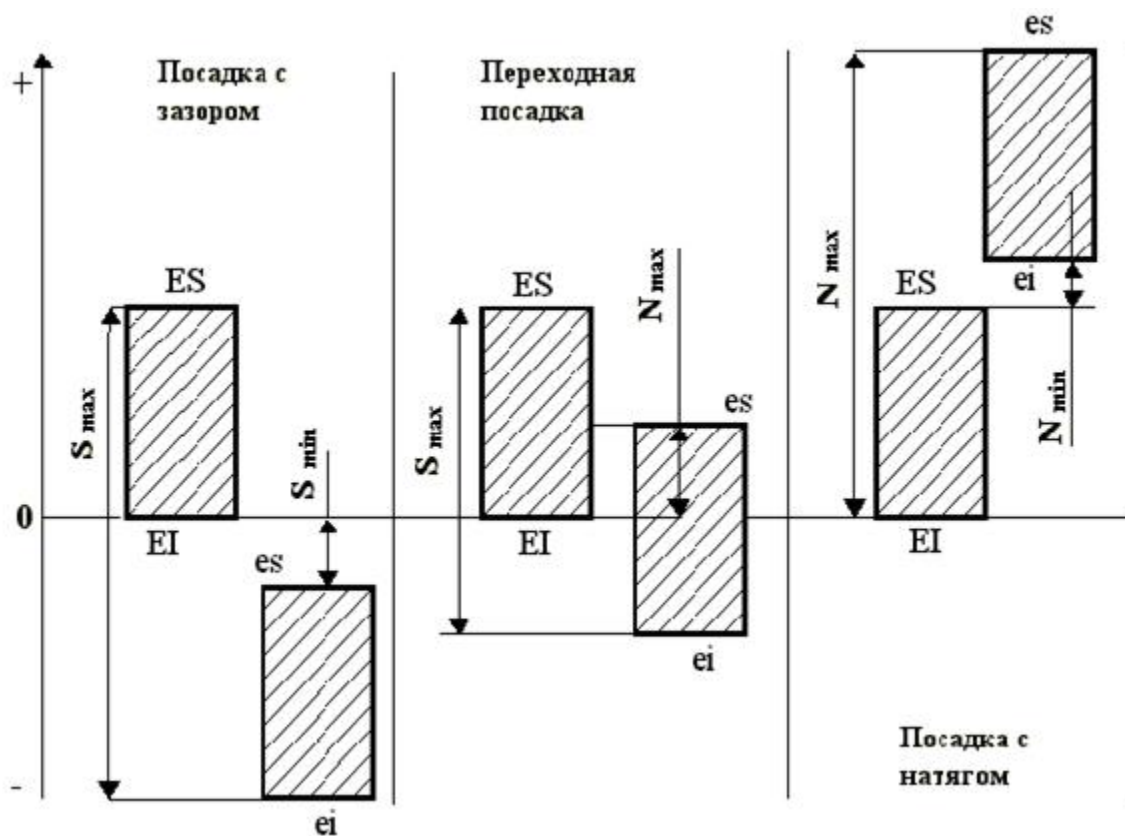


Рисунок 1.2. Графическое изображение полей допусков посадок с зазором, переходных и с натягом

Все типы посадок также характеризуются допуском посадки.

Допуск посадки – разность между наибольшим и наименьшим допускаемыми зазорами (допуск зазора TS в посадках с зазором) или наибольшим и наименьшим натягами (допуск натяга TN в посадках с натягом):

$$TS = S_{\max} - S_{\min} ; TN = N_{\max} - N_{\min} \quad (1.15)$$

В переходных посадках допуск посадки – сумма наибольшего натяга и наибольшего зазора:

$$TSN = S_{\max} + N_{\max} \quad (1.16)$$

Для всех типов посадок допуск посадки численно равен сумме допусков отверстия и вала:

$$TS(NS) = TD + Td \quad (1.17)$$

Посадки в системе отверстия – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия.

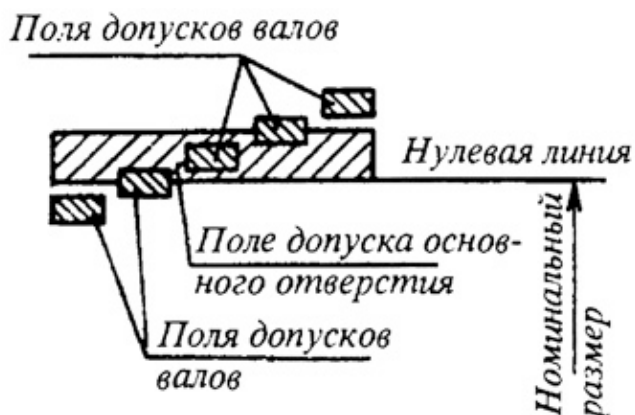


Рисунок 1.3. Схема посадок в системе отверстия

Посадки в системе вала – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала.

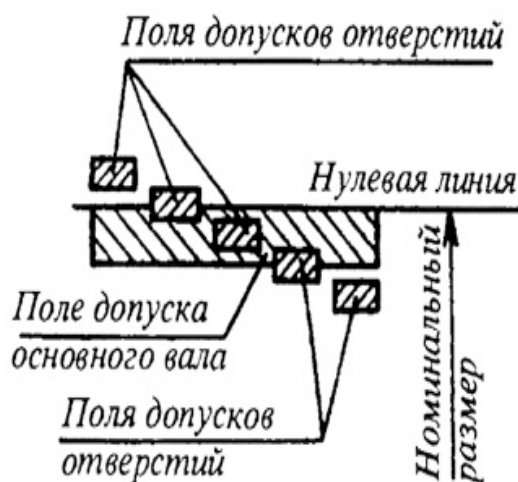


Рисунок 1.4. Схема посадок в системе вала

Поля допусков и соответствующие им предельные отклонения установлены различными диапазонами номинальных размеров:

- до 1 мм – ГОСТ 25347-2013;
- от 1 до 500 мм – ГОСТ 25347-2013;
- свыше 500 до 3150 мм – ГОСТ 25347-2013;
- свыше 3150 до 10.000 мм – ГОСТ 25348-82.

ГОСТ 25346-2013 устанавливает 20 квалитетов (01, 0, 1, 2, ... 18). Квалитеты от 01 до 5 предназначены преимущественно для калибров.

Допуски и предельные отклонения, установленные в стандарте, относятся к размерам деталей при температуре +20 °С.

Установлено 27 основных отклонений валов и 27 основных отклонений отверстий. Основное отклонение – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. Основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Основные отклонения отверстий обозначаются прописными буквами латинского алфавита, валов – строчными.

Схема расположения основных отклонений с указанием квалитетов, в которых рекомендуется их применять, для размеров до 500 мм приведена ниже. Затемненная область относится к отверстиям.

На рисунке 1.5 представлена схема основных полей допусков. Схема показана в сокращении.

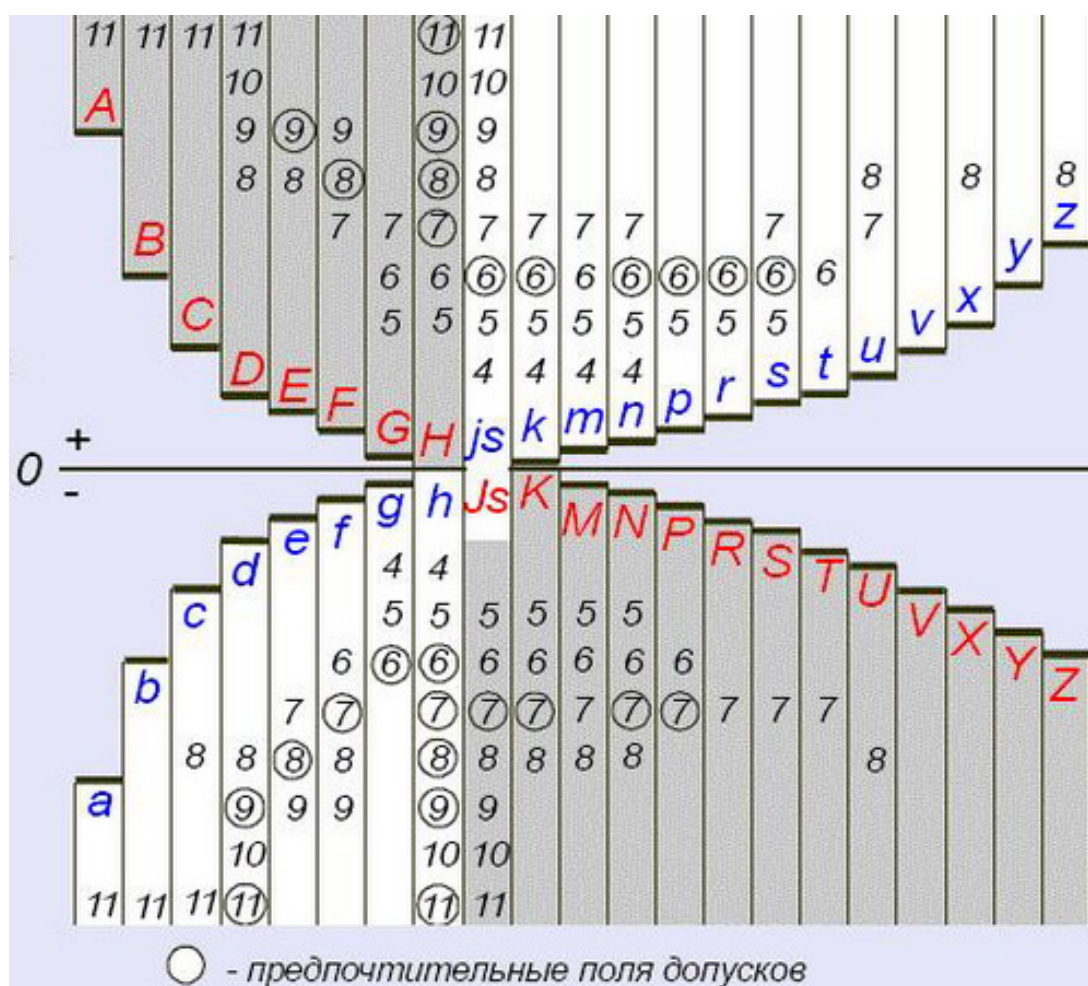


Рисунок 1.5. Схема полей допусков

Обозначение полей допусков и посадок на чертежах представлено на рисунке 1.6.

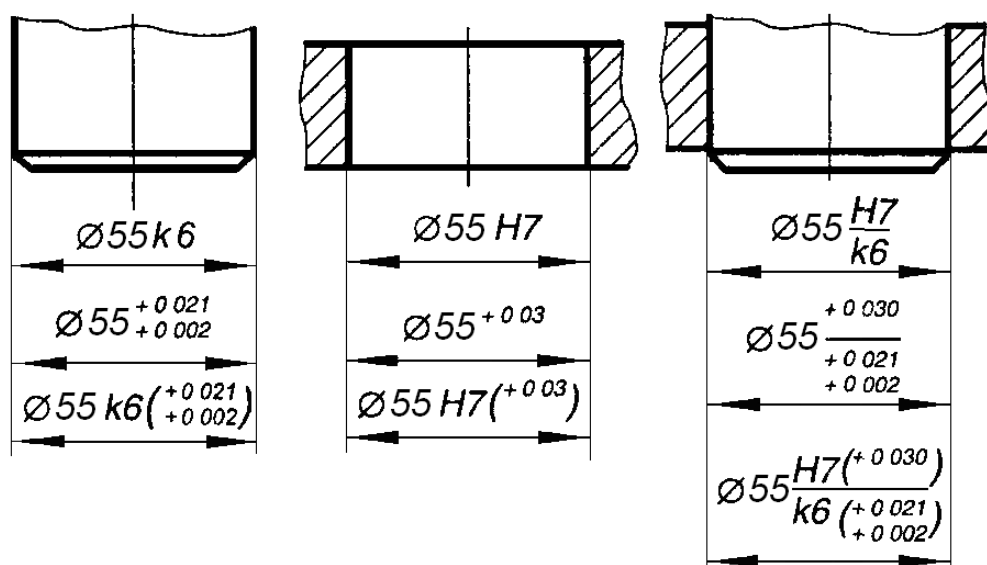


Рисунок 1.6. Обозначение полей допусков и посадок на чертеже

Анализируя рисунок 1.6, возникает вопрос, как перевести буквенно-цифровое обозначение допуск размера в нормальный понятный для токаря вид. Это можно сделать, пользуясь таблицами ГОСТ 25347-2013 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов». Например, на чертеже детали задан размер отверстия $\text{Ø}40\text{H}7$. Чтобы преобразовать этот размер в нормальный числовой вид, необходимо взять ГОСТ 25347-2013, найти в нем таблицу 8 (Поля допусков отверстий при номинальных размерах от 1 до 500 мм. Предельные отклонения).

По этой таблице, зная номинальный размер 40 мм, поле допуска H и квалитет точности 7, находим соответствующую запись в колонке $0^{+0,25}$ и получаем этот размер в следующем виде: $\text{Ø}40^{+0,025}$ мм.

Теперь разберемся, как зависит размер поля допуска в зависимости от квалитета точности. Рассмотрим эту зависимость на примере. Зададим один и тот же номинальный размер детали, но поменяем квалитеты точности его изготовления следующим образом:

$$\text{Ø}40\text{H}8 = \text{Ø}40^{+0,039}\text{мм}; \text{Ø}40\text{H}9 = \text{Ø}40^{+0,062}\text{мм}; \text{Ø}40\text{H}10 = \text{Ø}40^{+0,1}\text{мм}$$

Из представленной выше информации следует, что поле допуска растет численно с увеличением квалитета точности.

Как мы видим, квалитет точности при одном и том же номинальном размере определяется величиной поля допуска. Чем ниже число, определяющее квалитет точности, тем меньше величина поля допуска и выше точность изготовления размера.

С увеличением точности изготовления размеров растет и себестоимость изготовления детали.

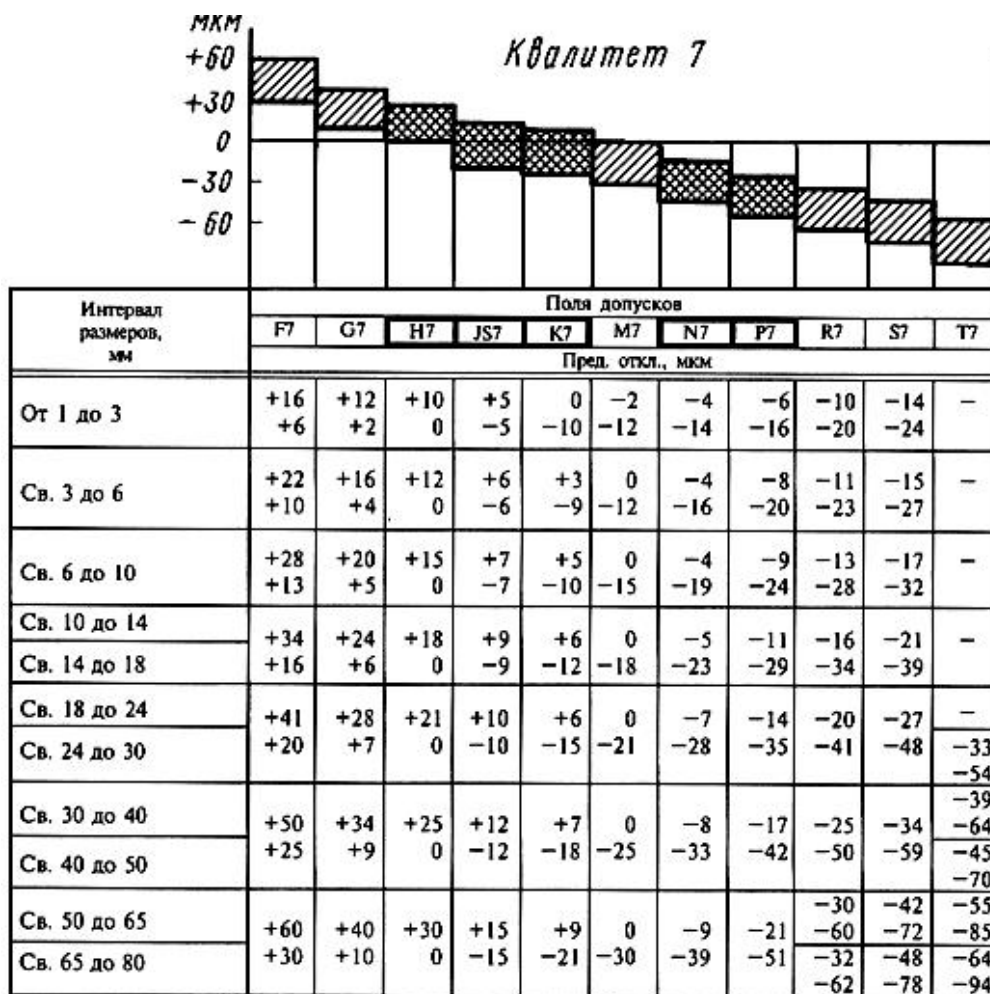


Рисунок 1.7. Фрагмент таблицы предельных отклонений отверстия, мкм

Поле допуска растет численно также с увеличением номинального размера при одном и том же значении качества точности. Например, $\varnothing 60H7 = \varnothing 60^{+0,030}_{-0,030}$ мм.

Величина допуска в пределах одного качества зависит только от величины номинального размера и рассчитывается для квалитетов 5–18 по формуле:

$$T = ai, \quad (1.18)$$

где a – число единиц допуска, определяемое квалитетом;

i – единица допуска, являющаяся функцией номинального размера.

Для размеров до 500 мм единица допуска определяется по формуле:

$$i = 0,453D + 0,001D, \quad (1.19)$$

где D – среднее геометрическое границ интервала, куда попадает номинальный размер соединения.

Для размеров свыше 500 до 10000 мм:

$$i = 0,004D + 2,1 \quad (1.20)$$

Для квалитетов точнее 5-го допуски определяются по другим формулам:

$$IT_{0.1} = 0,3 + 0,008D \quad (1.21)$$

$$IT_0 = 0,5 + 0,012D \quad (1.22)$$

$$IT_1 = 0,8 + 0,020D \quad (1.23)$$

$$IT_3 = IT_1 \times IT_5 \quad (1.24)$$

$$IT_2 = IT_1 \times IT_3 \quad (1.25)$$

$$IT_4 = IT_3 \times IT_5 \quad (1.26)$$

Число единиц допуска от квалитета к квалитету изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем $\approx 1,6$. В таблице 1.1. приведены значения числа единиц допуска, a для квалитетов 5–18.

Таблица 1.1. Значение числа единиц допуска, a для квалитетов 5–18

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11
Число единиц допуска, a	7	10	16	25	40	64	100
Квалитет	12	13	14	15	16	17	18
Число единиц допуска, a	160	250	400	640	1000	1600	2500

Очень часто встречается ситуация, когда инженеры-конструкторы на чертеже детали указывают только номинальные размеры. Это может относиться как к размерам гладких цилиндрических поверхностей деталей, так и к размерам плоских параллельных поверхностей.

В этом случае нужно обратить внимание на технические условия, которые указываются в нижней части чертежа перед основной рамкой.

Стандартом установлено, что предельные отклонения размеров с неуказанными допусками могут назначаться по 12, 14 и 16-му квалитетам.

Для назначения допуска на номинальный размер необходимо определиться, к какому элементу конструкции относится этот допуск.

На размеры, относящиеся к отверстиям, проставляется допуск основного отверстия (рис. 1.8).

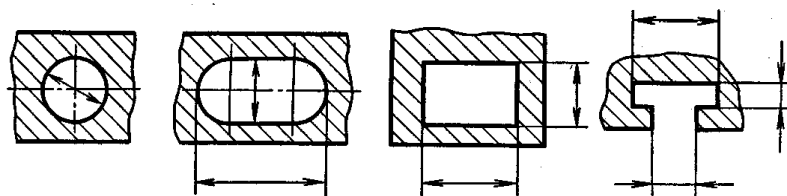


Рисунок 1.8. Элементы конструкции, подпадающие под определение – «основное отверстие»

На размеры, относящиеся к валам, проставляется допуск основного вала (рис. 1.9).

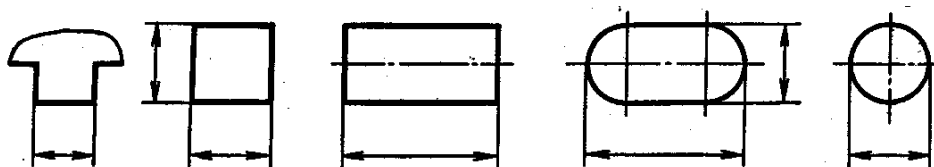


Рисунок 1.9. Элементы конструкции, подпадающие под определение – «основной вал»

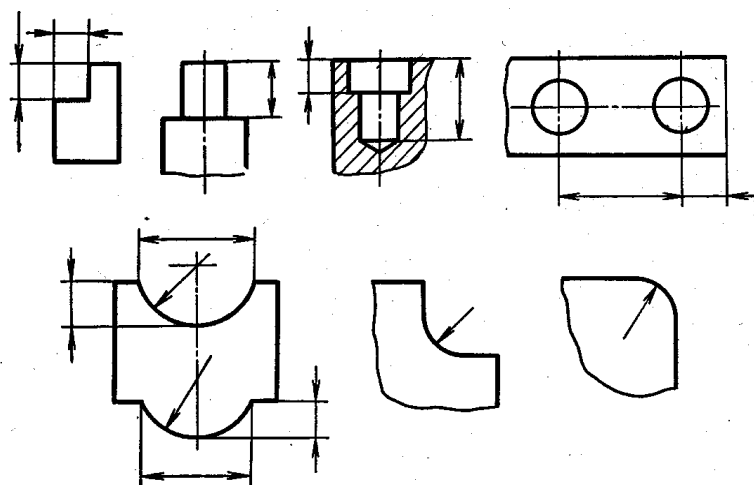


Рисунок 1.10. Элементы конструкции, не подпадающие под принятые определения – «основной вал» и «основное отверстие»

На размеры, не относящиеся к отверстиям и валам, проставляются симметричные допуски $\pm \frac{IT}{2}$ (рис. 1.10).

1.3. Назначение посадок

Посадки выбирают в зависимости от назначения и условий работы оборудования и механизмов, их точности, условий сборки. При этом необходимо

учитывать и возможность достижения точности при различных методах обработки изделия.

В первую очередь должны применяться предпочтительные посадки. В основном применяют посадки в системе отверстия.

Посадки системы вала целесообразны при использовании некоторых стандартных деталей (например, подшипников качения) и в случаях применения вала постоянного диаметра по всей длине для установки на него нескольких деталей с различными посадками.

Допуски отверстия и вала в посадке не должны отличаться более чем на 1–2 квалитета. Больший допуск, как правило, назначают для отверстия.

Зазоры и натяги следует рассчитывать для большинства типов соединений, в особенности для посадок с натягом, подшипников жидкостного трения и других посадок. Во многих случаях посадки могут назначаться по аналогии с ранее спроектированными изделиями, сходными по условиям работы.

1.4. Примеры расчета посадок в сопряжениях

Максимальный размер детали, или верхнее отклонение ES , es – разность между наибольшим и номинальным размером.

Минимальный размер, или нижнее отклонение EI , ei – разность между наименьшим и номинальным размером.

Посадки делят на 3 группы в зависимости от подобранных полей допусков для вала и отверстия:

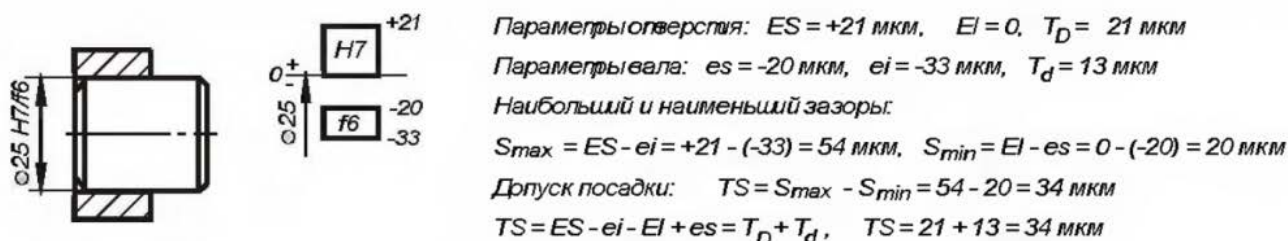


Рисунок 1.11. Пример расчета посадки с зазором

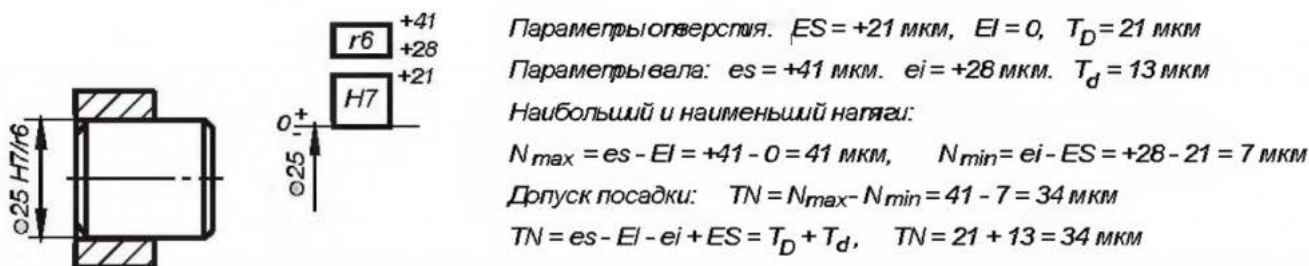


Рисунок 1.12. Пример расчета посадки с натягом

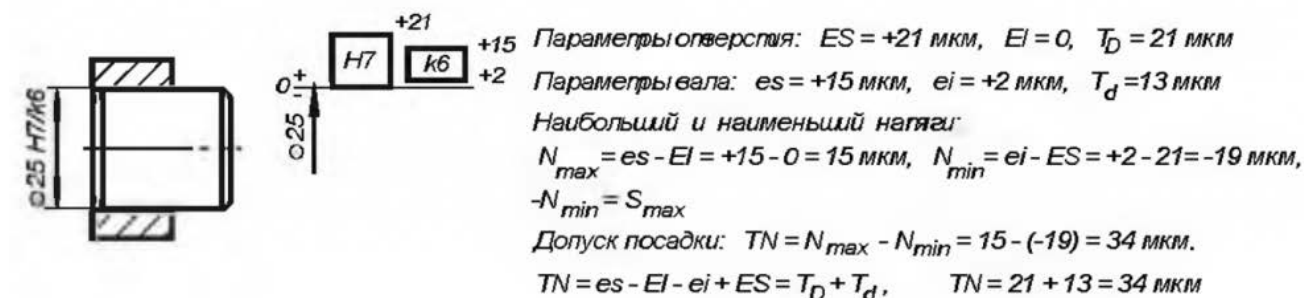


Рисунок 1.13. Пример расчета переходной посадки

ЗАДАНИЕ

Самостоятельно преобразовать буквенно-цифровое обозначение размера детали в нормальный цифровой вид. Определить вид посадки и произвести ее расчет.

Таблица 1.2

Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 4	Вариант № 5	Вариант № 6
Допуск размера					
$\varnothing 42H7$	$\varnothing 32h7$	$\varnothing 24h6$	$\varnothing 78H11$	$\varnothing 18h6$	$\varnothing 20h6$
$\varnothing 68k6$	$\varnothing 52n6$	$\varnothing 40s7$	$\varnothing 44h7$	$\varnothing 120H9$	$\varnothing 35H7$
$\varnothing 70h8$	$\varnothing 80H8$	$\varnothing 100H12$	$\varnothing 22g6$	$\varnothing 54N7$	$\varnothing 46P7$
Посадка					
$\varnothing 42H7/h6$	$\varnothing 35H7/f7$	$\varnothing 32H7/n6$	$\varnothing 28H7/k6$	$\varnothing 56H7/p6$	$\varnothing 42H7/r6$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте понятие определения «номинальный размер».
2. Чем номинальный размер отличается от действительного размера?
3. Дайте определение понятия «предельные размеры».
4. Дайте определение понятия «предельные отклонения».
5. Как записываются предельные отклонения на чертежах?

2. ДОПУСКИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

2.1. Нормативные документы на допуски формы и расположения поверхностей

Допуски формы и расположения поверхностей регламентируются следующими стандартами:

- ГОСТ Р 53442-2024. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения;
- ГОСТ 24643-81. Числовые значения отклонений формы и взаимного положения;
- ГОСТ 30893.2-2002. Неуказанные допуски формы и расположения поверхностей;
- ГОСТ Р 2.308-2023. Единая система конструкторской документации. Допуски формы и расположения поверхностей. Правила выполнения.

2.2. Влияние отклонений формы и расположения поверхностей на качество изделий

Точность геометрических параметров деталей характеризуется не только точностью размеров ее элементов, но и точностью формы и взаимного расположения поверхностей. Отклонения формы и расположения поверхностей возникают в процессе обработки деталей из-за неточности и деформации станка, инструмента и приспособления; деформации обрабатываемого изделия; неравномерности припуска на обработку; неоднородности материала заготовки и т. п.

В подвижных соединениях эти отклонения приводят к уменьшению износостойкости деталей вследствие повышенного удельного давления на выступах неровностей, к нарушению плавности хода, шуму и т. д.

В неподвижных соединениях отклонения формы и расположения поверхностей вызывают неравномерность натяга, вследствие чего снижаются прочность соединения, герметичность и точность центрирования.

В сборках эти погрешности приводят к погрешностям базирования деталей друг относительно друга, деформациям, неравномерным зазорам, что вызывает нарушения нормальной работы отдельных узлов и механизма в целом; например, подшипники качения весьма чувствительны к отклонениям формы и взаимного расположения посадочных поверхностей.

2.3. Геометрические параметры деталей. Основные понятия и определения

При анализе точности геометрических параметров деталей оперируют следующими понятиями, отраженными на рисунке 2.1.

Номинальная поверхность – идеальная поверхность, размеры и форма которой соответствуют заданным номинальным размерам и номинальной форме.

Реальная поверхность – поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды.

Профиль – линия пересечения поверхности с плоскостью или с заданной поверхностью (существуют понятия реального и номинального профилей, аналогичные понятиям номинальной и реальной поверхностей).

Нормируемый участок L – участок поверхности или линии, к которому относится допуск формы, допуск расположения или соответствующее отклонение.

Если нормируемый участок не задан, то допуск или отклонение относится ко всей рассматриваемой поверхности или длине рассматриваемого элемента. Если расположение нормируемого участка не задано, то он может занимать любое расположение в пределах всего элемента.

Прилегающая поверхность – поверхность, имеющая форму номинальной поверхности и соприкасающаяся с реальной поверхностью, и расположенная вне материала детали, так, чтобы отклонения от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормированного участка имело минимальное значение. Прилегающая поверхность применяется в качестве базовой при определении отклонений формы и расположения.

Вместо прилегающего элемента для оценки отклонений формы или расположения допускается использовать в качестве базового элемента средний элемент, имеющий номинальную форму и проведенный методом наименьших квадратов по отношению к реальному.

База – элемент детали, по отношению к которым задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение.

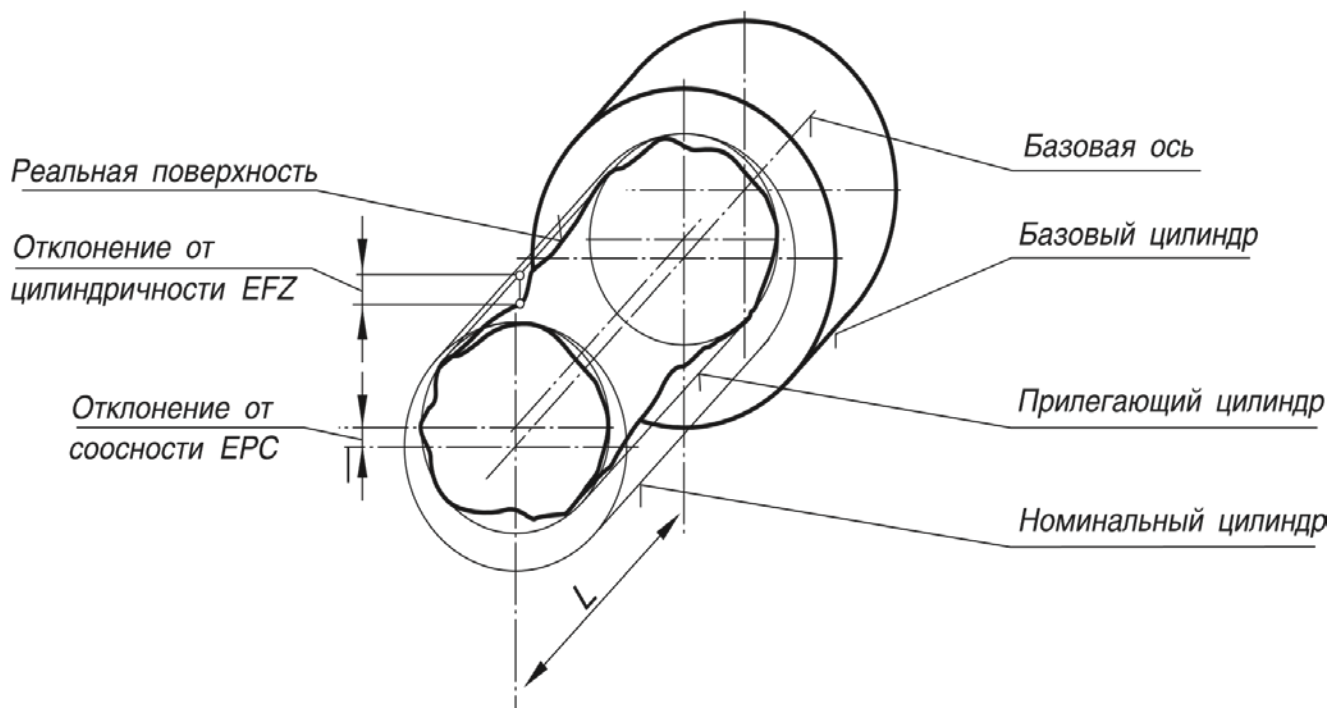


Рисунок 2.1. Реальный и номинальный профили детали

2.4. Отклонения и допуски формы

Отклонением формы EF называется отклонение формы реального элемента от номинальной формы, оцениваемое наибольшим расстоянием от точек реального элемента по нормали к прилегающему элементу.

Допуском формы TF называется наибольшее допустимое значение отклонения формы.

Виды допусков, их обозначение и изображение на чертежах приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Числовые значения допусков в зависимости от степени точности приведены в ГОСТ 24643-81.

Выбор допусков зависит от конструктивных и технологических требований и, кроме того, связан с допуском размера.

Поле допуска размера для сопрягаемых поверхностей ограничивает также и любые отклонения формы на длине соединения.

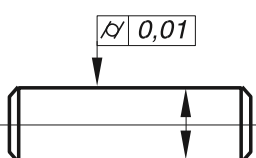
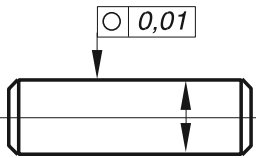
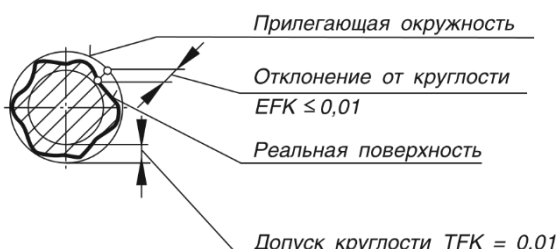
Ни одно из отклонений формы не может превышать допуск размера.

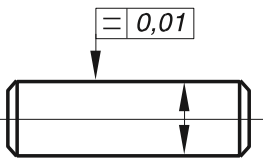
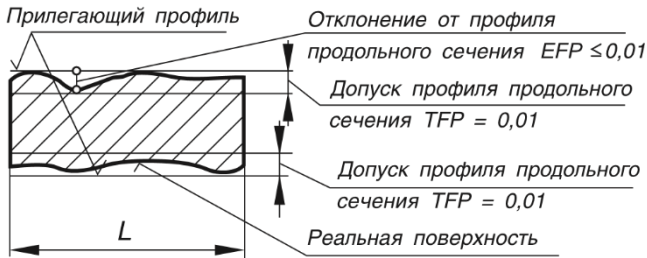
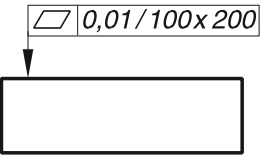
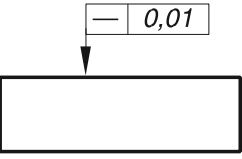
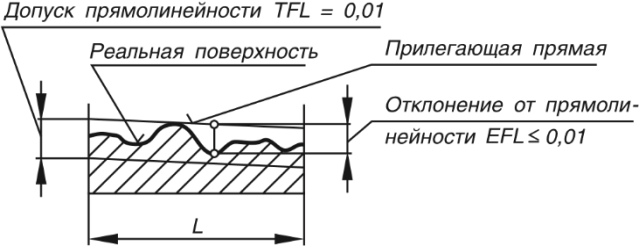
Допуски формы назначают только в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера.

Таблица 2.1. Виды допусков формы и их обозначение

№ п/п	Вид допуска и его обозначение по ГОСТ Р 53442-2024	Изображение на чертеже
1	Допуск цилиндричности TFZ	
2	Допуск круглости TFK	
3	Допуск профиля продольного сечения цилиндрической поверхности TFP	
4	Допуск плоскостности TFE	
5	Допуск прямолинейности TFL	

Таблица 2.2. Изображение допусков формы на чертежах

Пример нанесения допуска на чертеже по ГОСТ Р 2. 308-2023	Изображение допуска и отклонение
1. Допуск и отклонение от цилиндричности	
	
2. Допуск и отклонение от круглости	
	

3. Допуск и отклонение профиля продольного сечения	
	
4. Допуск и отклонение от плоскостности	
	
5. Допуск и отклонение от прямолинейности	
	

2.5. Отклонения и допуски расположения поверхностей

Отклонение расположения EP называется отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения.

Под номинальным понимается расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми размерами.

Для оценки точности расположения поверхностей, как правило, назначают базы.

База – элемент детали (или выполняющая ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение.

Допуском расположения называется предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения поверхностей

Поле допуска расположения TP – область в пространстве или заданной плоскости, внутри которой должен находиться прилегающий элемент или ось,

центр, плоскость симметрии в пределах нормируемого участка, ширина или диаметр которой определяется значением допуска, а расположение относительно баз – номинальным расположением рассматриваемого элемента.

Виды допусков, их обозначение и изображение на чертежах приведены в таблицах 2.3. и 2.5. В таблице 2.3 приведены допуски, ограничивающие отклонения расположения между цилиндрическими и плоскими поверхностями.

Оценка величины отклонения расположения производится по расположению прилегающей поверхности, проведенной к реальной поверхности, таким образом исключаются из рассмотрения отклонения формы.

В графе «Примечание» (см. табл. 2.3) указаны допуски, которые могут назначаться либо в радиусном, либо в диаметральной выражении. При наличии этих допусков на чертежах следует указывать соответствующий знак перед числовым значением допуска (см. табл. 2.5).

Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей должны применяться для сборочных единиц в машиностроении и в других отраслях промышленности.

Числовые значения допусков формы, допусков расположения и суммарных допусков формы и расположения поверхностей должны соответствовать указанным в таблице 2.4. Ряд числовых значений R10 допускается продолжать в сторону меньших или больших значений при соблюдении закономерности построения ряда по ГОСТ 24643-81.

Числовые значения допусков формы и расположения, не предусмотренные настоящим стандартом, являются специальными.

Допускается применять их, если они предусмотрены в других стандартах для соответствующих видов продукции.

Числовые значения допусков в зависимости от степени точности даны в ГОСТ 24643-81.

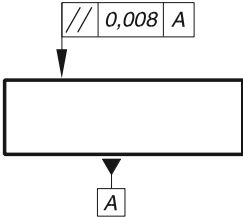
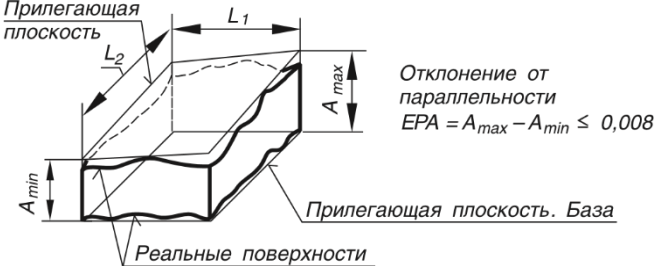
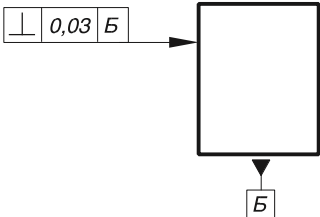
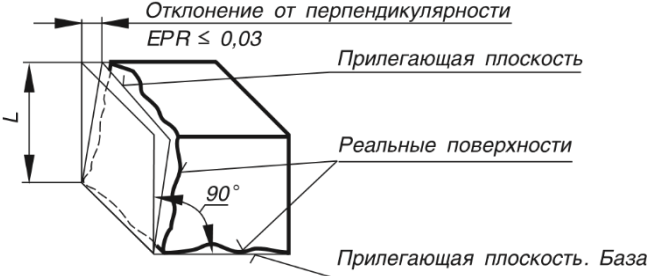
Таблица 2.3. Виды допусков расположения и обозначение

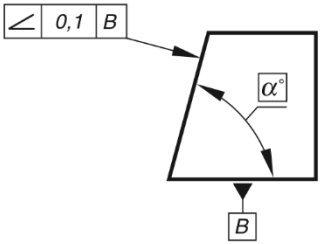
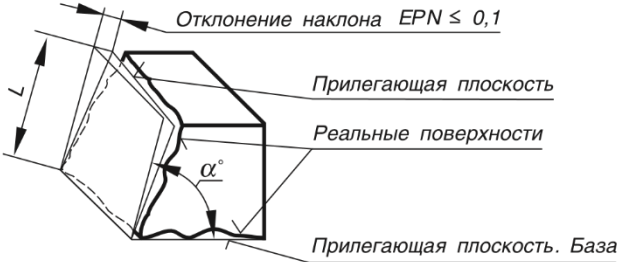
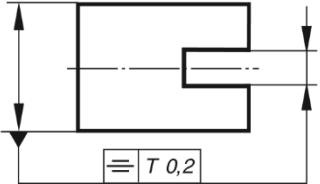
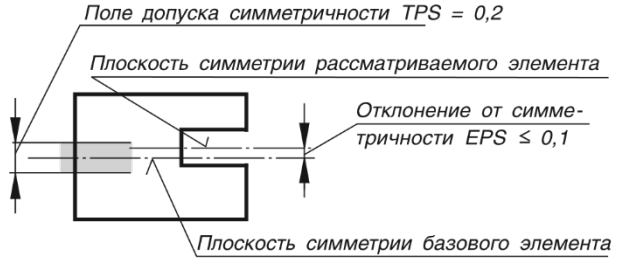
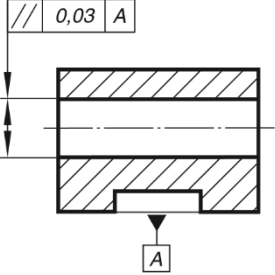
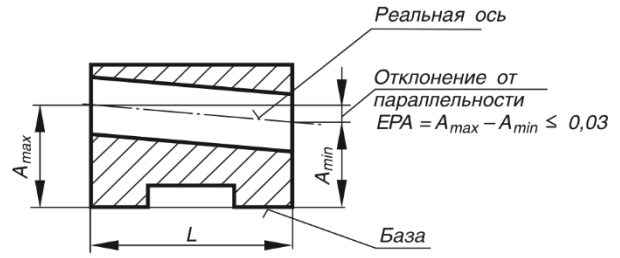
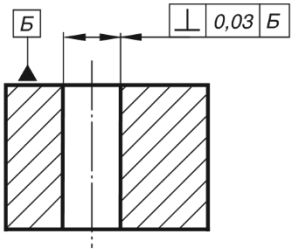
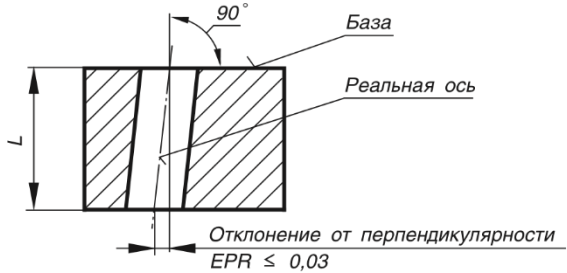
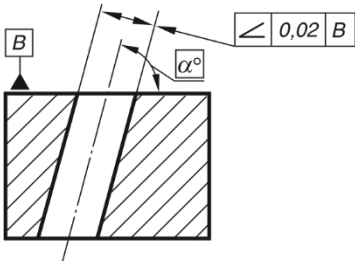
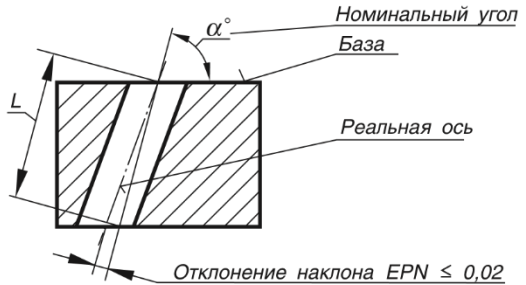
Вид	Плоскость			Цилиндр		
	Вид допуска расположения, ГОСТ Р 53442-2024	Изобра- жение	При- ме- чание	Вид допусков расположения ГОСТ Р 53442-2024	Изобра- жение	При- ме- чание
Плос- кость	Допуск параллельности TRA	//				
	Допуск перпендикуляр- ности TPR	⊥				
	Допуск наклона TPN	∠				
	Допуск симметричности TPS	≡	T, T/2			
Ци- линдр	Допуск параллельности TRA	//		Допуск параллельности осей TRAх	//	
	Допуск перпендикуляр- ности TPR	⊥		Допуск перекоса осей TRAу	//	
	Допуск наклона TPN	∠		Допуск перпендикуляр- ности TPR	⊥	
	Допуск симметричности TPS	≡	T, T/2	Допуск наклона TPN	∠	
	Позиционный допуск TRP	⊕	Ø, R	Допуск соосности TRC	⊙	Ø, R
				Позиционный допуск TRP	⊕	Ø, R
				Допуск пересечения TRX	×	T, T/2

Таблица 2.4. Допуски формы и расположения поверхностей

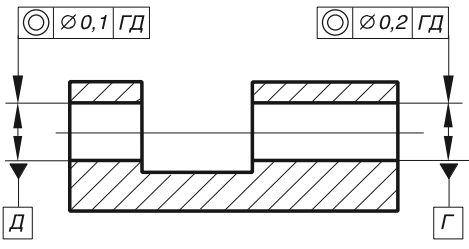
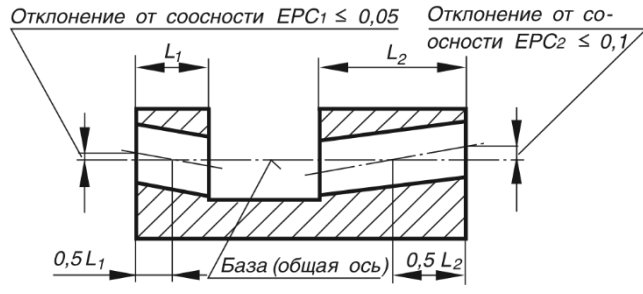
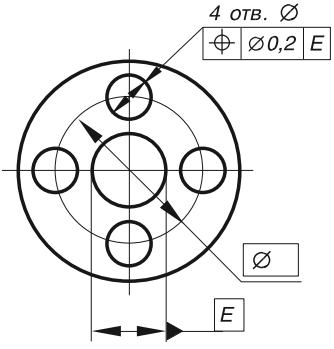
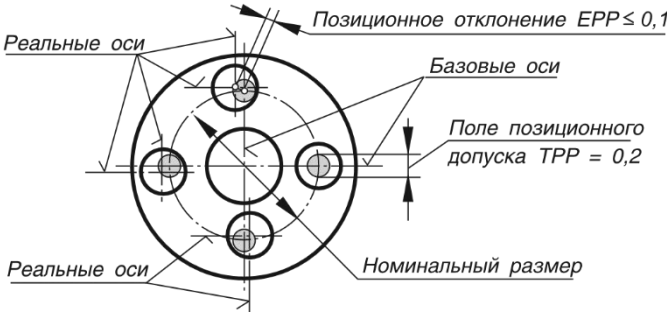
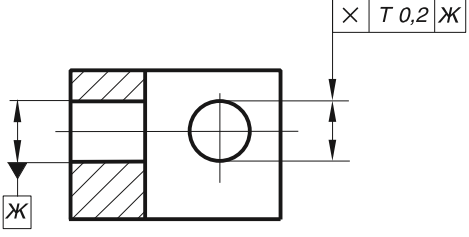
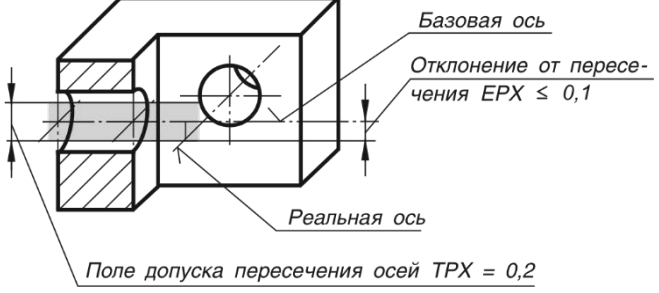
Ряд нормальных чисел R10, мкм									
0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
10	12	16	20	25	30	40	50	60	80
100	120	160	200	250	300	400	500	600	800
1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000
10000	12000	16000	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.5. Изображение допусков расположения на чертежах

Пример нанесения допуска на чертеже по ГОСТ 2.308–2023	Изображение отклонений
Допуски взаимного положения при сочетании поверхностей плоскость–плоскость 1. Допуск параллельности	
	 Отклонение от параллельности $EPA = A_{max} - A_{min} \leq 0,008$
2. Допуск перпендикулярности	
	 Отклонение от перпендикулярности $EPR \leq 0,03$

3. Допуск наклона	
	
4. Допуск симметричности	
	
Допуски взаимного положения при сочетании поверхностей плоскость—цилиндр	
5. Допуск параллельности	
	
6. Допуск перпендикулярности	
	
7. Допуск наклона	
	

8. Допуск симметричности	
	Отклонение от симметричности $EPS \leq 0,1$ Плоскость симметрии рассматриваемого элемента Плоскость симметрии базового элемента Поле допуска симметричности $TPS = 0,2$
9. Позиционный допуск	
	Реальные оси Позиционное отклонение $EPP \leq 0,1$ Поле позиционного допуска $TPP = 0,2$ Номинальные размеры
Допуски взаимного положения при сочетании поверхностей цилиндр—цилиндр	
10. Допуск параллельности. 11. Допуск перекоса	
	Отклонение от параллельности проекций осей на их общую плоскость $EPAx \leq 0,1$ Общая плоскость Базовая ось Перекос осей $EPAy \leq 0,2$
12. Допуск перпендикулярности	
	Реальная ось Базовая ось 90° Отклонение от перпендикулярности $EPR \leq 0,03$
13. Допуск наклона	
	Номинальный угол Базовая ось Реальная ось Отклонение наклона $EPN \leq 0,02$

14. Допуск соосности	
	
15. Позиционный допуск	
	
16. Допуск пересечения осей	
	

2.6. Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей

Суммарным отклонением формы и расположения $ЕС$ называется отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения рассматриваемой поверхности, или рассматриваемого профиля относительно баз.

Поле суммарного допуска формы и расположения $ТС$ – это область в пространстве или на заданной поверхности, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности или реального профиля в пределах нормируемого участка. Это поле имеет заданное номинальное положение относительно баз.

Виды допусков, их обозначение и изображение на чертежах приведены в таблице 2.6. Числовые значения допусков в зависимости от степени точности даны в ГОСТ 24643-81.

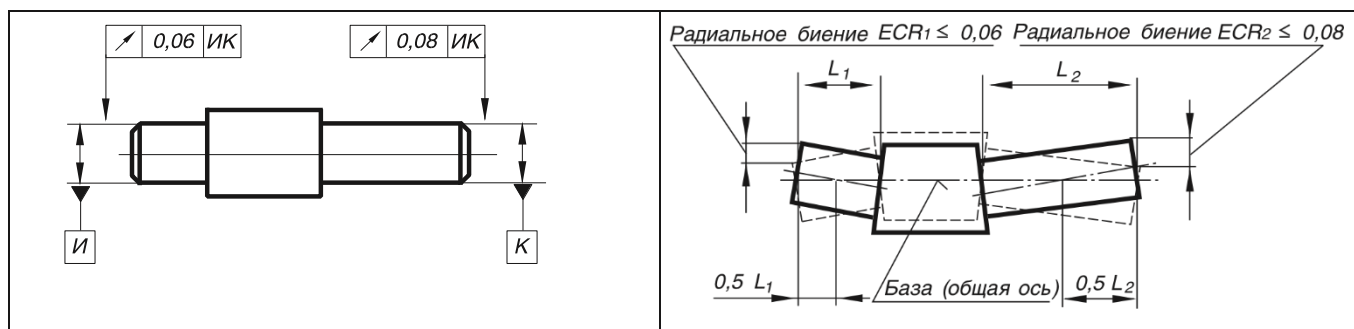
Примеры назначения допусков на чертежах и изображение отклонений приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.6. Изображение суммарных допусков

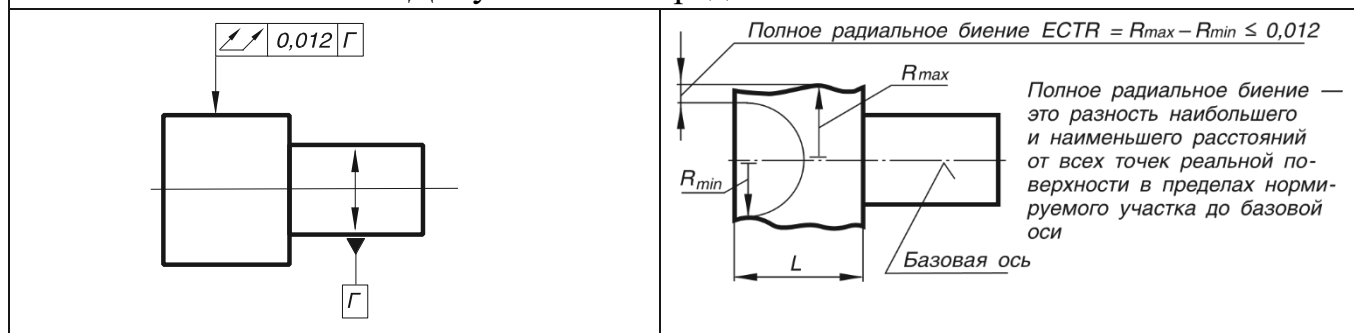
№ п/п	Вид допуска и обозначение по ГОСТ Р 53442-2024	Изображение на чертеже
1	Допуск торцевого биения TCA	
2	Допуск полного торцевого биения TCTA	
3	Допуск радиального биения TCR	
4	Допуск полного радиального биения TCTR	
5	Допуск биения в заданном направлении TCD	
6	Допуск формы заданного профиля TCL	
7	Допуск формы заданной поверхности TCE	

Таблица 2.7. Изображение суммарных допусков на чертежах

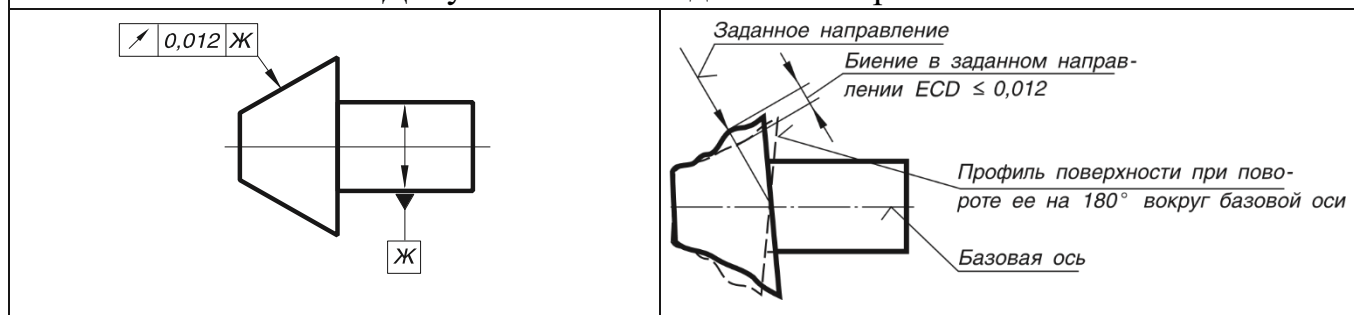
Пример нанесения допуска на чертеже по ГОСТ 2.308-2023	Изображение отклонения
1. Допуск торцевого биения	
	Торцовое биение $ECA \leq 0,012$ Базовая ось Торцовое биение определяется в сечении торцевой поверхности цилиндром заданного диаметра d, соосным с базовой осью, а если диаметр не задан, то в сечении любого диаметра торцевой поверхности
2. Допуск полного торцевого биения	
	Полное торцовое биение $ECTA \leq 0,012$ Базовая ось Полное торцовое биение — это разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси
3. Допуск радиального биения	



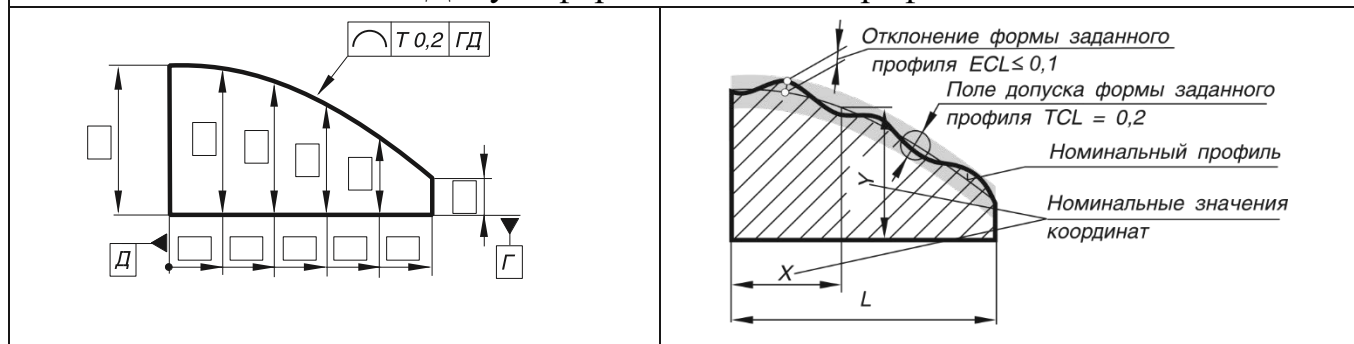
4. Допуск полного радиального биения



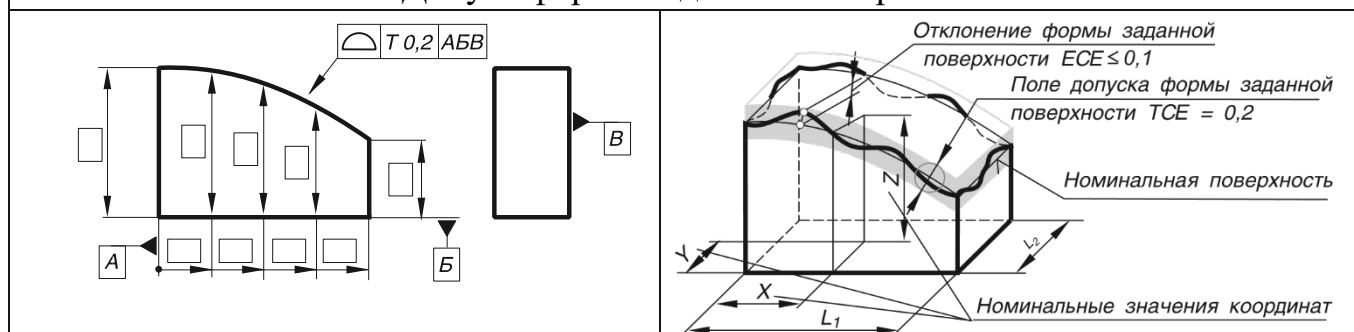
5. Допуск биения в заданном направлении



6. Допуск формы заданного профиля



7. Допуск формы заданной поверхности



2.7. Зависимые и независимые допуски

Допуски расположения или формы могут быть зависимыми или независимыми.

Зависимый допуск – это допуск расположения или формы, указанный на чертеже в виде значения, которое допускается превышать на величину, зависящую от отклонения действительного размера рассматриваемого элемента от максимума материала.

Зависимый допуск – переменный допуск, его минимальное значение указывается в чертеже и его допускается превышать за счет изменения размеров рассматриваемых элементов, но так, чтобы их линейные размеры не выходили за пределы предписанных допусков.

Зависимые допуски расположения, как правило, назначают в тех случаях, когда необходимо обеспечить собираемость деталей, сопрягающихся одновременно по нескольким поверхностям.

Зависимые допуски обычно контролируют комплексными калибрами, которые являются прототипами сопрягаемых деталей.

Пример назначения зависимого допуска приведен на рисунке 2.2.

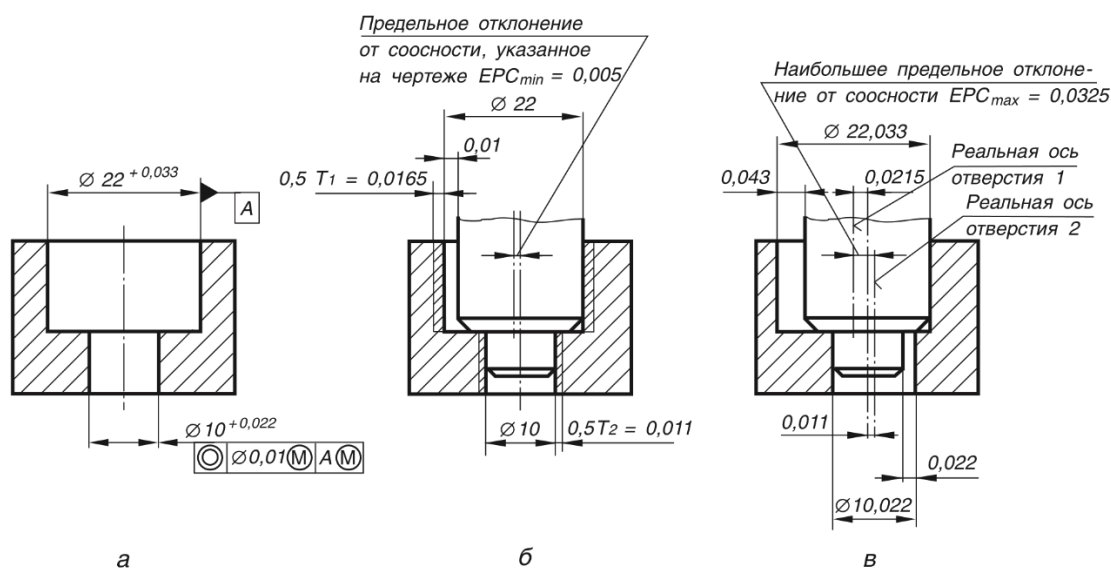


Рисунок 2.2. Примеры обозначения зависимых допусков

Буква М показывает, что допуск зависимый, а способ указания – что значение допуска соосности можно превышать за счет изменения размеров обоих отверстий.

Из рисунка видно, что при выполнении отверстий с минимальными размерами предельное отклонение от соосности может быть не более $ERC_{min} = 0,005$ (рис. 2.2, б). При выполнении отверстий с максимально допустимыми размерами значение предельного отклонения соосности может быть увеличено (рис. 2.2, в).

Наибольшее предельное отклонение рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} EPC_{\max} &= EPC_{\min} + 0,5 (T_1 + T_2) \\ EPC_{\max} &= 0,005 + 0,5(0,033 + 0,022) = 0,0325 \text{ мм} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Для зависимых допусков возможно назначение в чертежах их нулевых значений. Такой способ указания допусков означает, что отклонения допустимы только за счет использования части допуска на размер элементов.

Независимый допуск – это допуск расположения или формы, числовое значение которого постоянно для всех совокупностей деталей и не зависит от действительных размеров рассматриваемых поверхностей.

2.8. Указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах

1. Допуски формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными обозначениями. Указания допусков формы и расположения текстом в технических требованиях допустимо лишь в тех случаях, когда отсутствует знак вида допуска.

2. При условном обозначении данных о допусках формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на части:

- в первой части – знак допуска;
- во второй части – численное значение допуска, а при необходимости и длину нормируемого участка;
- в третьей и последующих частях – буквенное обозначение баз (табл. 2.5 и 2.7)

3. Форма и размеры знаков рамки, изображение баз приведены на рисунке 2.3.

4. Рамку рекомендуется выполнять в горизонтальном положении. Пересекать рамку допуска какими-либо линиями не допускается.

5. Если допуск относится к оси или к плоскости симметрии, то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии (рис. 2.4, а). Если же отклонение или база относится к поверхности, то соединительная линия не должна совпадать с размерной (рис 2.4, б, в).

6. Если размер элемента уже указан, размерная линия должна быть без размера, и ее рассматривают как составную часть условного обозначения допуска.

7. Рамку рекомендуется выполнять в горизонтальном положении. Пересекать рамку допуска какими-либо линиями не допускается

8. Если допуск относится к оси или к плоскости симметрии, то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии (рис. 2.4, а). Если же отклонение или база относится к поверхности, то соединительная линия не должна совпадать с размерной (рис. 2.4, б, в).

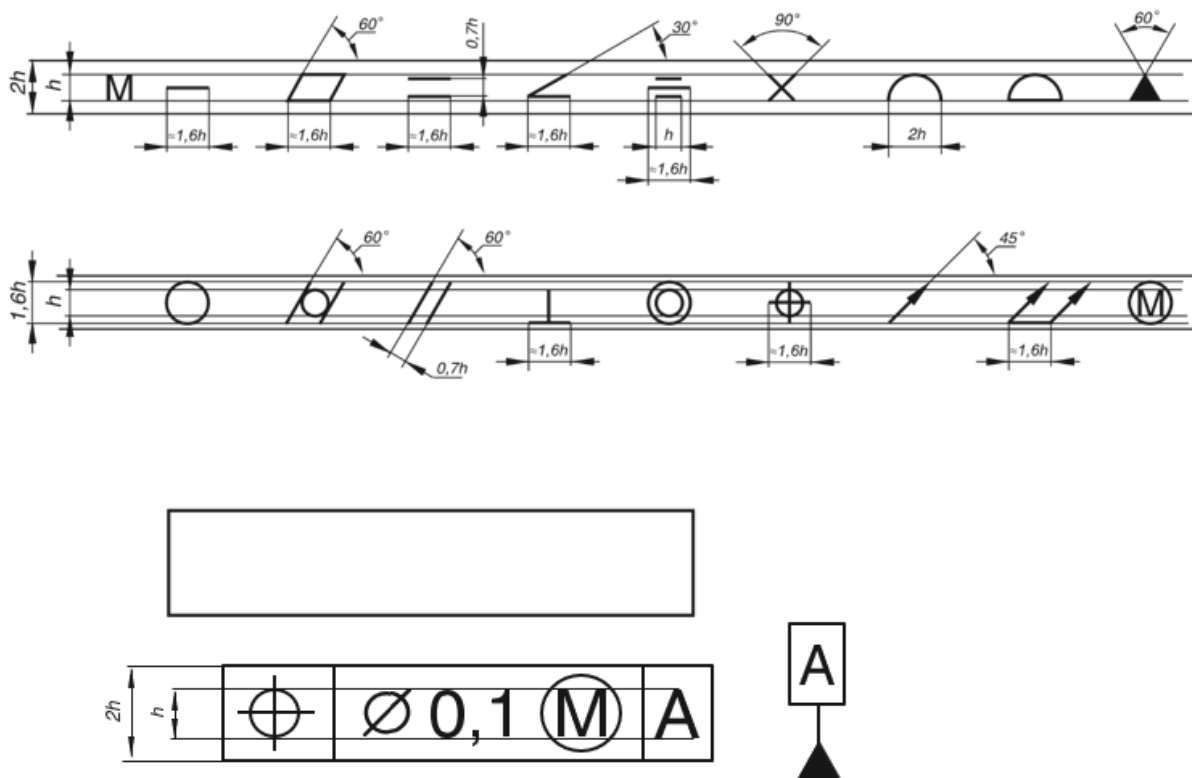


Рисунок 2.3. Форма и размеры знаков рамки

9. Базы обозначают зачерненным треугольником, который соединяют при помощи соединительной линии с рамкой допуска, или рамкой, в которой указывают буквенное обозначение базы (см. рис. 2.3).

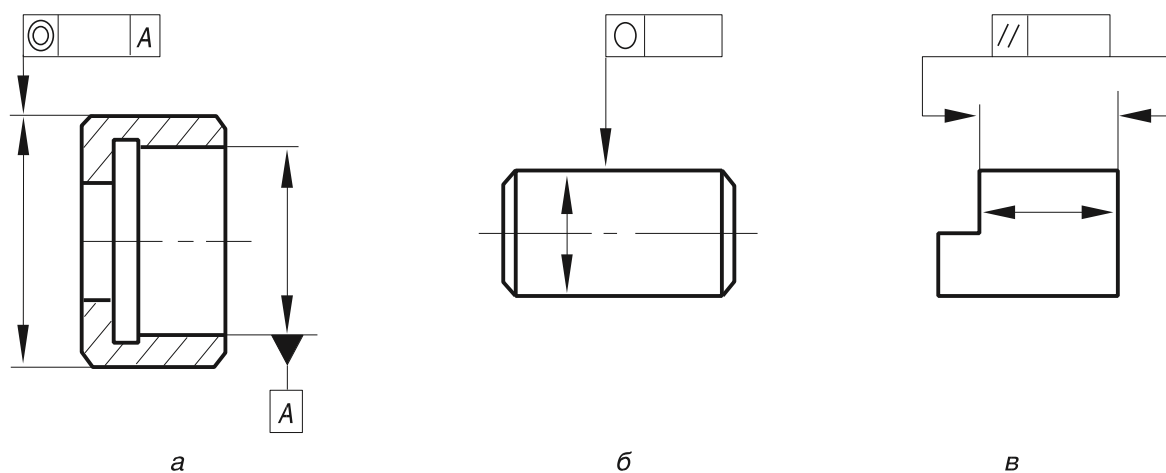


Рисунок 2.4. Примеры обозначения допусков

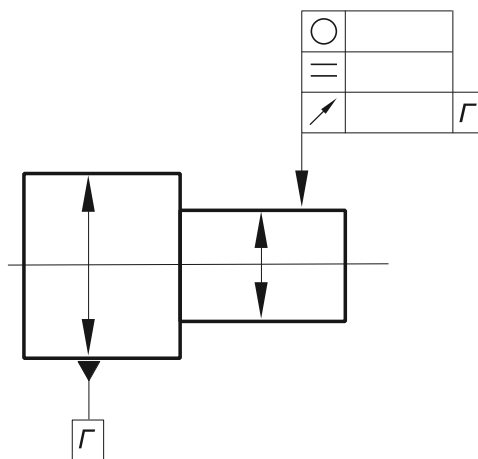


Рисунок 2.5. Пример обозначения базы на чертеже

10. Если нет необходимости выделять как базу ни одну из поверхностей, то треугольник заменяют стрелкой (рис. 2.4, в).

11. Линейные и угловые размеры, определяющие номинальное расположение элементов, ограничиваемых допуском расположения, указывают на чертежах в прямоугольных рамках (см. табл. 2.5 и 2.7).

12. Если допуск расположения или формы не указан как зависимый, то его считают независимым. Зависимые допуски обозначают так, как показано на рисунке 2.6. Знак «М» помещают:

- после числового значения допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого элемента (рис. 2.6, а);
- после буквенного обозначения базы (рис. 2.6, б), если без буквенного обозначения – в третьей части рамки (рис. 2.6, в), если зависимый допуск связан с действительными размерами базового элемента;
- после числового значения допуска и буквенного обозначения базы (рис. 2.6, г) или без буквенного обозначения (рис. 2.6, д), если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элементов.

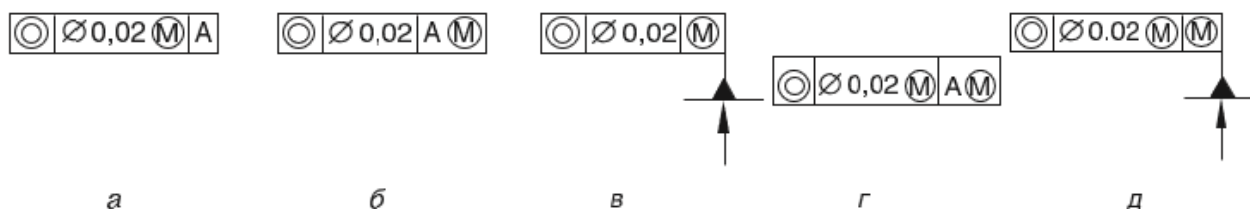


Рисунок 2.6. Обозначение зависимых допусков на чертеже

ЗАДАНИЕ

Самостоятельно определить, какие допуски формы и расположения изображены на чертеже детали, представленной на рисунке 2.7, и описать их назначение.

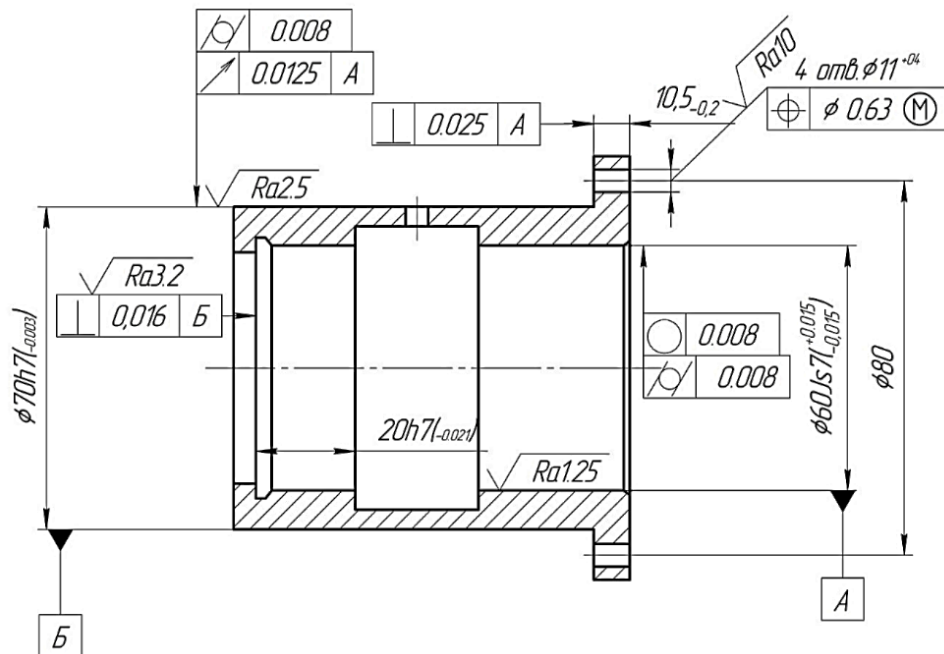


Рисунок 2.7. Чертеж детали с допусками формы и расположения

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите причины возникновения отклонений формы и расположения поверхностей при изготовлении деталей.
2. Назовите основные виды допусков формы и покажите, как они обозначаются на чертежах.
3. Назовите основные виды допусков расположения и покажите, как они обозначаются на чертежах.
4. Назовите основные виды суммарных допусков формы и расположения и как они обозначаются на чертежах.

3. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

3.1. Основные понятия и определения шероховатости поверхности деталей

Шероховатостью поверхности называется совокупность микронеровностей, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах участка, длина которого равна базовой длине.

В качестве критериев шероховатости поверхности установлено несколько параметров. Рассмотрим из них два основных: среднее арифметическое отклонение профиля R_a и высоту неровностей R_z .

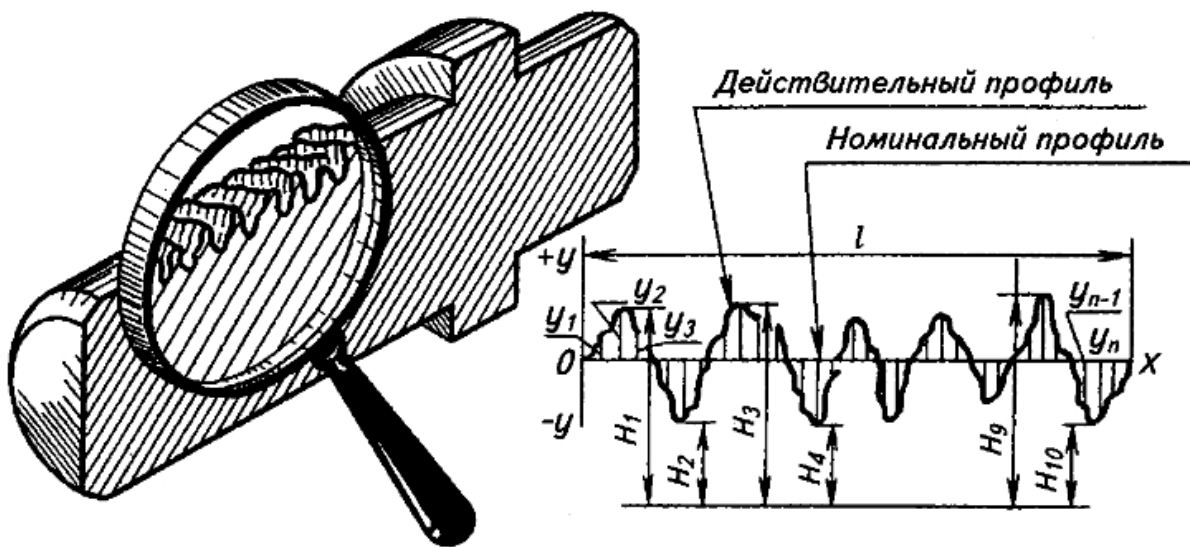


Рисунок 3.1. Определение параметров шероховатости поверхности

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a определяется как среднее значение расстояний отдельных точек профиля $y_1, y_2, \dots, y_n$ до средней линии гребешков ОХ (рис. 3.1):

$$R_a = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)}{n} \quad (3.1)$$

Базовая длина – длина базовой линии l , длина линии, используемой для выделения неровностей.

Средняя линия – средняя линия профиля (О-Х – на рис. 3.1), линия, имеющая форму номинального профиля, с минимальным среднеквадратическим отклонением профиля, от этой линии и отсчитывают все числовые значения для шероховатости.

Высоту неровностей профиля по десяти точкам R_z определяют как среднее значение между пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин профиля (перпендикуляры $H_1, H_2, H_3, \dots, H_{10}$ из высших точек выступов и низших и параллельно средней линии ОХ):

$$R_z = \frac{[(H_1 + H_3 + \dots + H_9) - (H_2 + H_4 + \dots + H_{10})]}{5} \quad (3.2)$$

ГОСТ 2789-73 устанавливает предельные значения R_a и R_z , обозначаемые на чертежах числовой величиной шероховатости в микрометрах.

Пять высших точек выступов и пять низших точек впадин (см. рис. 3.1) берут в пределах базовой длины l – длины участка поверхности, принятого для измерения шероховатости.

3.2. Механизм возникновения шероховатости поверхности

Все причины возникновения шероховатости можно разбить на 3 группы:

- расположение режущих кромок инструмента, относительно обрабатываемой поверхности;
- упругая и пластическая деформация обрабатываемого металла;
- вибрации в технологической станочной системе.

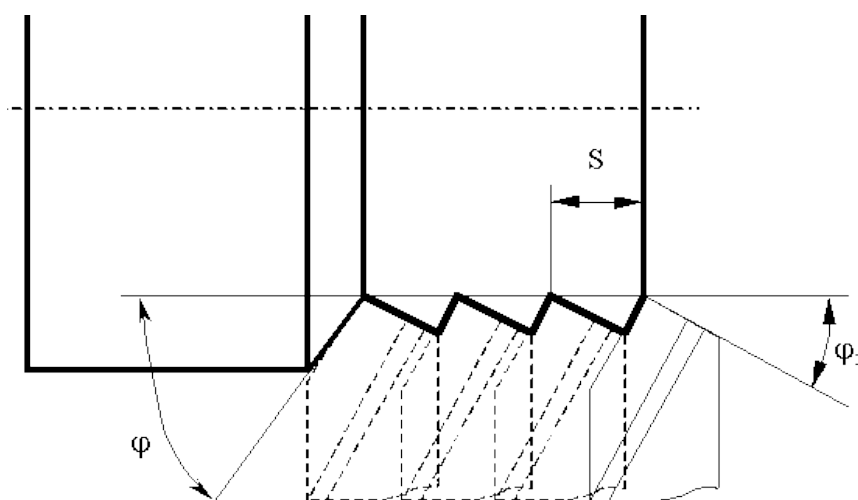


Рисунок 3.2. Схема образования регулярного профиля

Образование неровностей на обработанной поверхности можно представить, как след от движения режущих кромок инструмента. Назовем такой профиль регулярным (рис. 3.2).

На образование регулярного профиля влияет геометрия резца, в частности, углы в плане, а также величина подачи S . Их влияние описывается формулой:

$$R_{z\text{расч}} = \frac{S - \sin\varphi \sin\varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \quad (3.3)$$

В реальном процессе резания впереди резца и под обработанной поверхностью образуется зона пластической деформации, которая вносит

некоторую погрешность в регулярный профиль. Пластически деформированный металл в отдельных местах как бы наволакивается на микронеровности, а где-то вырываются отдельные куски металла. Потому реальное значение R_z может быть записано как:

$$R_z = R_{z_{\text{расч}}} + \Delta R_z, \quad (3.4)$$

где ΔR_z – приращение высоты микронеровностей, вызванное пластической деформацией металла.

Следовательно, чем меньше пластическая деформация, тем меньше высота микронеровностей. Величина пластической деформации зависит в большей степени от твердости обрабатываемого материала и в меньшей – от глубины резания t .

3.3. Методы определения параметров шероховатости поверхности

Количественный контроль шероховатости поверхности

При метрологическом контроле шероховатости поверхностей обычно решают две задачи:

1. Определяют принадлежность контролируемой поверхности к назначенному классу шероховатости.
2. Определяют годность поверхности детали в отношении требований к шероховатости поверхности, если класс шероховатости поверхности не грубее указанного в технической документации.

Приборы, используемые для определения шероховатости по R_a или R_z , разделяются на две группы: контактные (профилографы и профилометры) и бесконтактные (оптические). Целью применения данных приборов является сканирование исследуемой поверхности детали на контролируемом участке с получением исходных данных в виде параметров шероховатости R_a и R_z , а также профилограмм. Проведение количественного контроля высотных параметров шероховатости поверхности требует дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала сотрудников предприятия. Поэтому данный метод применяется только на крупных машиностроительных предприятиях.

Качественный метод определения шероховатости поверхности

В цеховых условиях, в соответствии с ГОСТ 9378-93. Образцы шероховатости поверхности сравнения. Общие технические условия (ИСО 2632-1-85, ИСО 2632-2-85), наиболее простым методом контроля шероховатости поверхностей изделий является визуальное или органолептическое (на ощупь) сравнение с образцами (рис. 3.3.). Образцы изготавливают из тех же материалов, что и контролируемые детали и обрабатывают теми же методами. Кроме того, форма образцов и основное направление неровностей поверхности должны соответствовать определенным указаниям. В стандарте установлены ряды

номинальных значений параметра шероховатости R_a поверхности образца в зависимости от воспроизводимого способа обработки и базовой длины для их оценки. Так, для шлифования значения R_a варьируются в пределах 0,05–3,2 мкм при базовой длине 0,25–2,5 мм, для точения и расточки – 0,4–12,5 мкм при базовой длине 0,8–2,5 мм, а для полирования – 0,006–0,2 мкм при 0,08–0,8 мм. Ширина образцов сравнения составляет не менее 20 мм, а длина – 20–50 мм. Образцами могут служить и готовые детали. Для измерения шероховатости крупногабаритных деталей и в труднодоступных местах вначале снимают отпечаток поверхности – ее реплику, по которой оценивают параметры шероховатости.

Однако визуальная оценка и оценка на ощупь субъективны, и полученные результаты носят ориентировочный характер, особенно при высоких требованиях обработки поверхностей деталей.

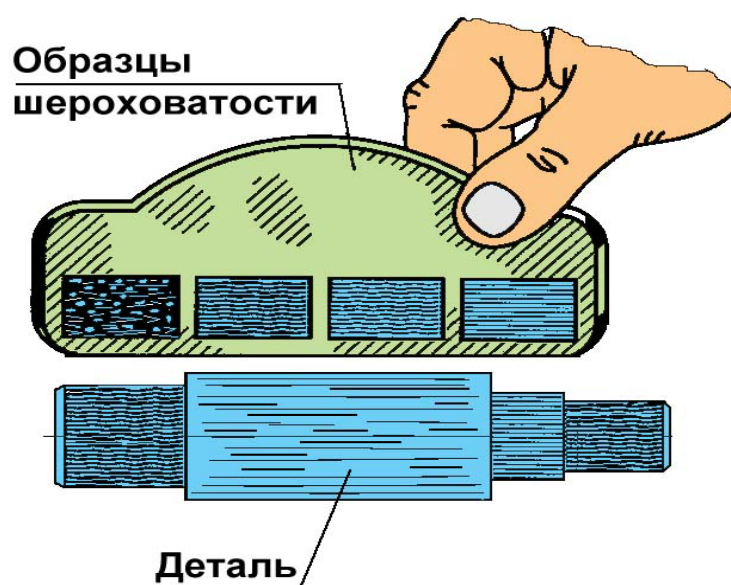


Рисунок 3.3. Сравнение шероховатости с образцами

Таблица 3.1. Параметры шероховатости поверхности

Класс шероховатости ¹	R_a		R_z
	Ряд предпочтительных чисел	Дополнительные числа	
1	50	80; 63; 40	320; 250; 200; 160
2	25	40; 32; 20	160; 125; 100; 80
3	12,5	20; 16; 10	80; 63; 50; 40
4	6,3	10; 8; 5	40; 32; 25; 20
5	3,2	5; 4; 2,5	20; 16; 12,5; 10
6	1,6	2,5; 2,0; 1,25	10,0; 8,0; 6,3
7	0,80	1,25; 1,00; 0,63	6,3; 5,0; 4,0; 3,2
8	0,40	0,63; 0,50; 0,32	3,2; 2,5; 2,0; 1,60

9	0,20	0,32; 0,25; 0,16	1,60; 1,25; 1,00; 0,80
10	0,10	0,160; 0,125; 0,080	0,80; 0,63; 0,50; 0,40
11	0,050	0,080; 0,063; 0,040	0,40; 0,32; 0,25; 0,20
12	0,025	0,040; 0,032; 0,020	0,20; 0,16; 0,125; 0,100
13	0,012	0,020; 0,016; 0,010	0,100; 0,080; 0,063; 0,050
14		0,010; 0,008	0,050; 0,040; 0,032
¹ Классы шероховатости поверхности используются в технической документации, разработанной до 1975 г., параметры шероховатости по ГОСТ 2789-73			

3.4. Обозначение параметров шероховатости поверхности

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

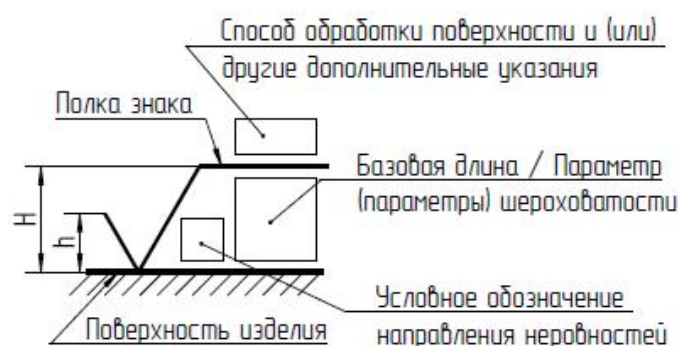


Рисунок 3.4. Структурная схема обозначения шероховатости поверхности

3.5. Назначение параметров шероховатости поверхности деталей по допуску

Ориентировочное значение шероховатости поверхности детали находим по величине среднеквадратичной высоты микронеровностей, мкм:

$$R_a = k \times T, \quad (3.6)$$

где k – коэффициент пропорциональности ($k = 0,15–0,25$);

T – допуск на размер детали, мкм. По найденному значению R_a назначают шероховатость поверхности в соответствии с ГОСТ 2789-73.

Для **примера** рассмотрим назначение шероховатости поверхности для внутреннего диаметра детали $\varnothing 56^{+0.030}_{-0}$. Допуск размера в данном случае составит $T = 30$ мкм.

Среднеквадратичная высота микронеровностей, мкм, будет в пределах:

$$R_{a(\min),(\max)} = (0,15 \dots 0,25) \times 30$$

В нашем случае $R_{a(\min)} = 0,15 \times 30 = 4,5$ мкм; $R_{a(\max)} = 0,25 \times 30 = 7,5$ мкм.

Таким условиям соответствует значение параметра шероховатости $R_a = 6,3$ мкм, который представлен в ряде предпочтительных чисел.

Структура обозначения шероховатости поверхности включает знак шероховатости, полку знака и другие дополнительные указания. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки. Высота h должна быть приблизительно равна применяемой на чертеже высоте цифр размерных чисел. Высота H равна (1,5–5) h .

Таблица 3.2. Знаки для обозначения шероховатости поверхности по ГОСТ 2.309-73

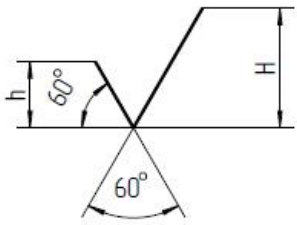
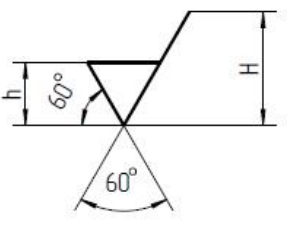
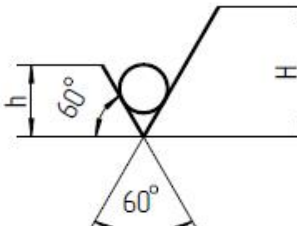
Форма знака	Назначение знака
	Применяется для обозначения шероховатости поверхности. Вид обработки, который конструктором не устанавливается
	Применяется только для обозначения шероховатости поверхности, образующейся удалением слоя металла, например, точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием, полированием и т. п.
	Применяется для обозначения шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя металла (например, литьем, ковкой, штамповкой, прокатом, волочением и т. п., с указанием значения параметра шероховатости. Этим же знаком, но без указания параметра шероховатости обозначаются поверхности, не подлежащие дополнительной обработке по данному чертежу

Таблица 3.3. Примеры обозначения шероховатости поверхности

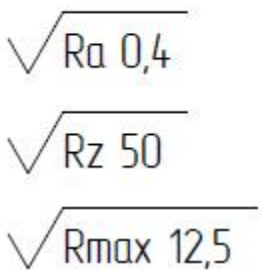
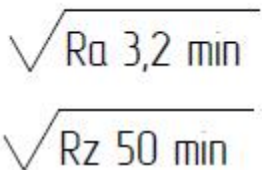
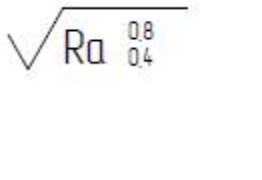
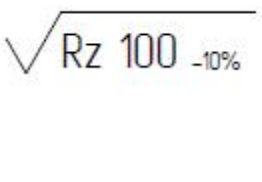
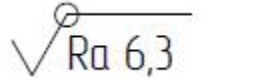
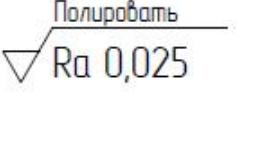
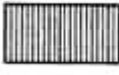
Графическое изображение шероховатости	Пояснение
	Указано числовое значение параметра, соответствующее наиболее грубой допускаемой шероховатости, т. е. наибольшему предельному значению для параметра R_a, R_z и R_{max}. Значения параметров R_a, R_z и R_{max} указывают в мкм
	Указано наименьшее значение параметра шероховатости. Способ применяется в отдельных случаях, когда для правильного функционирования недопустима слишком гладкая поверхность
	Указаны числовые значения, соответствующие наибольшему и наименьшему предельным значениям нормируемого параметра. Значение, указываемое сверху, соответствует наиболее грубой допускаемой шероховатости
	Указано номинальное значение параметра с предельными отклонениями от него в % от номинального значения. Способ применяют в основном для образцов сравнения шероховатости поверхности или для образцовых деталей, служащих тем же целям
	Указана шероховатость поверхностей, образующих контур
	Указан вид обработки поверхности. Указывается только в тех случаях, когда данный вид обработки является единственным, обеспечивающим требуемое качество поверхности

Таблица 3.4. Типы направлений неровностей

Типы направлений неровностей	Схематическое изображение	Условное обозначение на чертеже
Параллельное		$\sqrt{= Ra\ 0,4}$
Перпендикулярное		$\sqrt{\perp Ra\ 0,4}$
Перекрещивающееся		$\sqrt{\times Ra\ 0,4}$
Произвольное		$\sqrt{M Ra\ 0,4}$
Кругообразное		$\sqrt{C Ra\ 0,4}$
Радиальное		$\sqrt{R Ra\ 0,4}$

Взаимосвязь шероховатости поверхности и вида механической обработки представлена на рисунке 3.5.

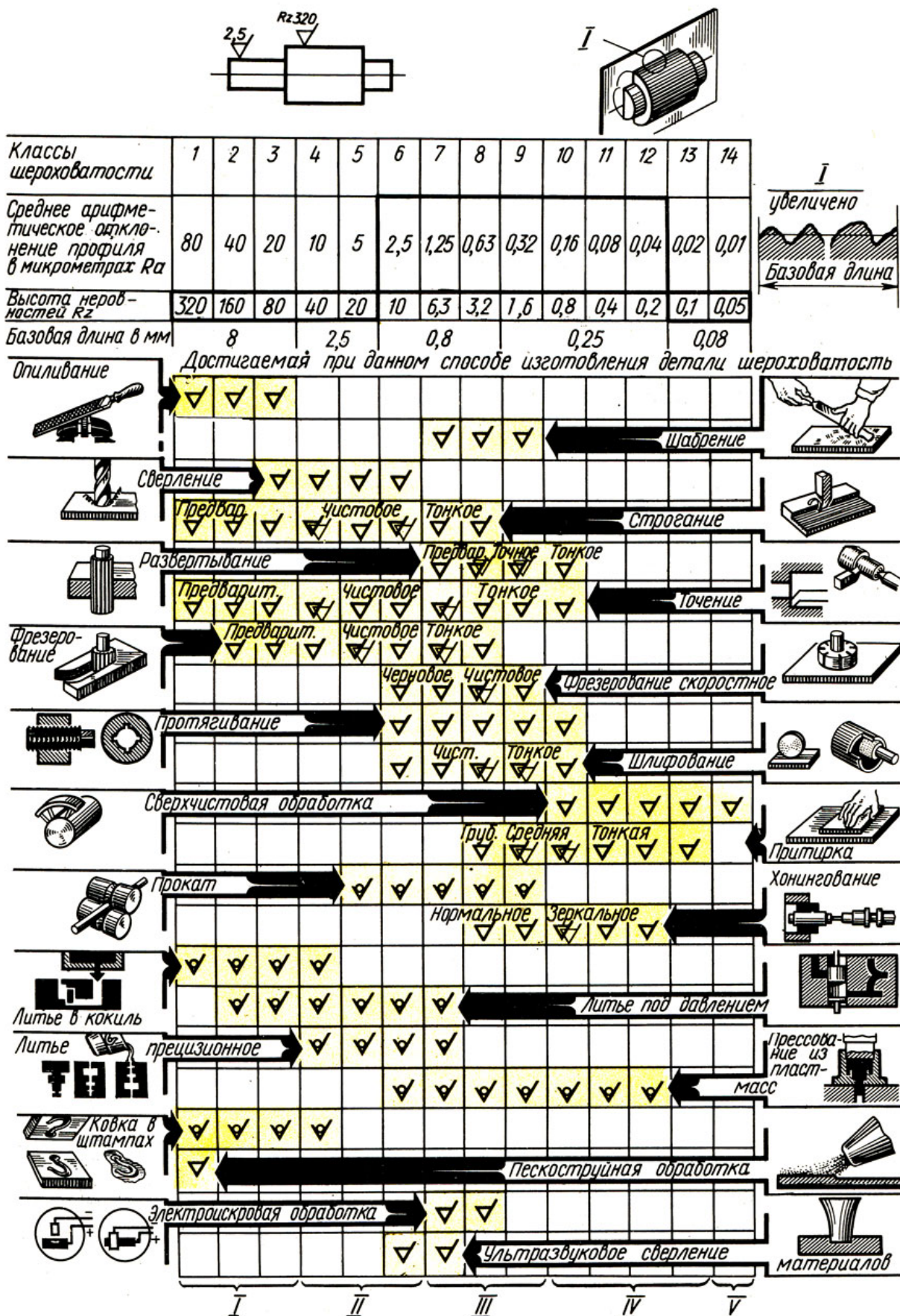


Рисунок 3.5. Взаимосвязь шероховатости поверхности и вида механической обработки

3.6. Правила обозначения шероховатости поверхностей на чертежах (ГОСТ 2.309-73)

1. Знаки шероховатости на изображении располагают:

- на выносных линиях между контуром детали и размерными линиями;
- на полках линий – выносок;
- на размерных линиях или на их продолжении;
- на линиях контура поверхности по возможности ближе к размерной линии, относящейся к данной поверхности.

2. Знаки шероховатости всегда наносят со стороны обработки поверхности. При любом положении знака длинная его сторона должна быть справа по отношению к наблюдателю, находящемуся в вершине угла. Высота цифр значения шероховатости равна высоте цифр размерных чисел на поле чертежа.

3. При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображение не наносят (рис. 3.6, а). Размеры и толщина линий знака в правом верхнем углу чертежа приблизительно в полтора раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображение изделия.

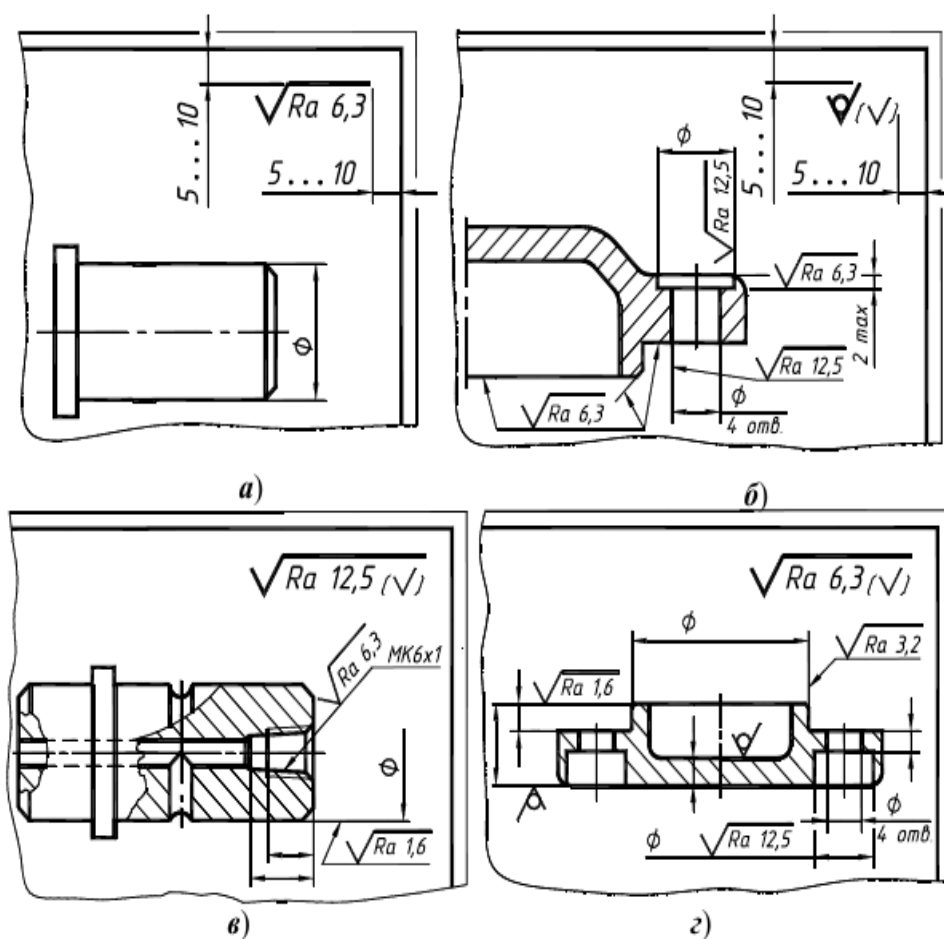


Рисунок 3.6. Примеры простановки знаков шероховатости поверхностей

4. В случае одинаковой шероховатости большей части поверхности детали в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение одинаковой шероховатости и условное обозначение знака в скобках, которые означают, что все поверхности, не имеющие на чертеже знаков шероховатости, должны иметь шероховатость, указанную перед скобкой (рис. 3.6, в, г). Размеры знаков в скобках и на изображении – одинаковы; размер знака перед скобкой увеличивается в 1,5 раза, утолщается и линия знака.

5. Если большинство поверхностей изделия не обрабатываются по данному чертежу, то на это указывает знак, помещенный в правом верхнем углу чертежа. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки (рис. 3.6, б). Если какая-либо поверхность детали не обрабатывается по чертежу, то обозначение ее шероховатости наносят и на ее изображение (знаки без полки рис. 3.6, г).

6. Пример обозначения шероховатости поверхности отверстия со шпоночным пазом приведен на рисунке 3.7, а.

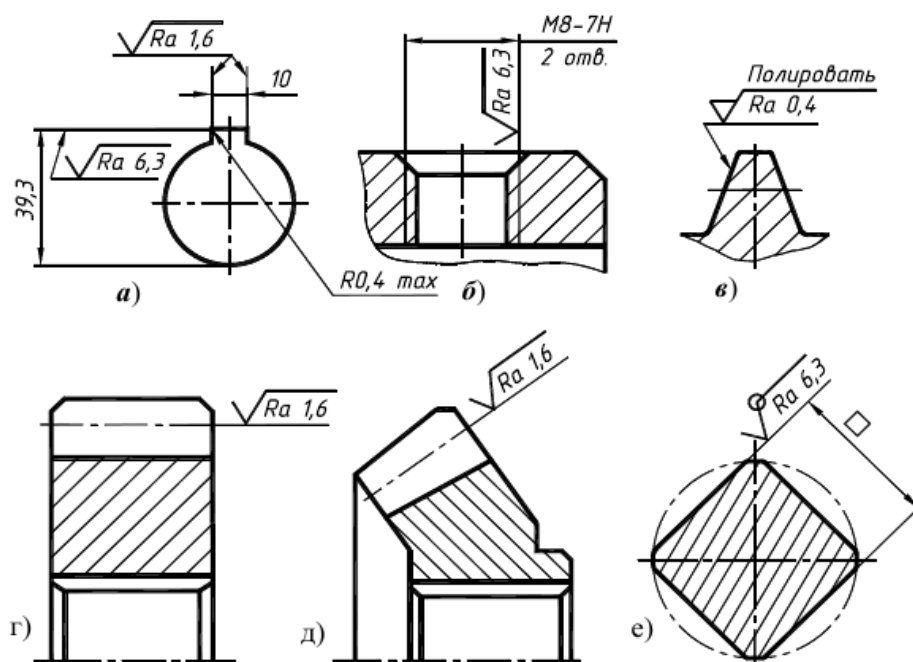


Рисунок 3.7. Примеры простановки знаков шероховатости поверхностей

7. Обозначение шероховатости поверхности одинаковых элементов деталей (отверстий, пазов, зубьев, ребер и т. п.), количество которых указано на чертеже, наносится один раз независимо от числа изображений (рис. 3.7, б).

8. Пример обозначения шероховатости поверхности зубьев колес показан на рисунке 3.7, в, г, д.

9. Обозначение шероховатости профиля резьбы наносят, как показано на рисунке 3.7, в и рисунке 3.7, б.

10. Если шероховатость поверхностей, образующих контур, должна быть одинаковой, обозначение шероховатости наносят в соответствии с рисунком 3.7, е.

ЗАДАНИЕ

Самостоятельно назначить шероховатость поверхности для размеров, представленных в таблице 3.5.

Таблица 3.5. Варианты заданий для назначения шероховатости поверхности по чертежным размерам

Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 4	Вариант № 5	Вариант № 6
Допуск размера					
Ø42H7	Ø32h7	Ø40s7	Ø78H11	Ø54N7	Ø22g6

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как образуется шероховатость поверхности на деталях?
2. Что понимается под понятием шероховатости поверхности?
3. Роль шероховатости поверхности в работе детали при эксплуатации изделия?
4. Назовите методы определения шероховатости поверхности.
5. Имеется ли связь между шероховатостью и допуском на изготовления размера детали?

4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

4.1. Концевые меры длины

Концевые меры – это эталонные длины в виде цилиндров, призм либо параллелепипедов, имеющих нормируемые размеры. Они изготавливаются из прочных, стойких к истиранию и механическим воздействиям материалов. Поставляются в футлярах с отдельными ячейками, для которых указываются точные номинальные размеры.

Полное название – плоскопараллельные концевые меры длины (аббревиатура – ПКМД). Такое наименование обусловлено тем, что измерительные поверхности располагаются параллельно по отношению друг к другу, а также являются плоскими, имеют минимальную степень шероховатости. Расстояние между этими противоположными двумя плоскостями и определяет номинальный проверяемый размер.

Применение концевых мер



Рисунок 4.1. Проверка точности приборов при помощи КМД

Назначение КМД – обеспечение максимальной точности, соответствия установленным требованиям размеров стандартизованных деталей. Концевые меры – это не самостоятельные измерительные приспособления, а поверочные инструменты, их используют в качестве эталона при разметке, создании чертежей, настройке станков, а также при проверке точности приборов, используемых для измерения и контроля, а также как калибры. Сфера применения широкая, включает разные отрасли промышленности: деревообрабатывающую, строительную, металлообрабатывающую, электронную, легкую, а также машино-, станко-, автомобиле-, судо- и авиастроение.

При нанесении разметки, проверке точности инструментов или оборудования, при проведении прочих операций нужная длина формируется из

нескольких плиток. При этом точность достигает 1 мкм, что соответствует 0,001 мм.

При использовании концевых мер действуют правила:

1. Набирая требуемую длину, нужно стараться применять минимум мер.
2. Рассчитывая количество изделий, сначала берите за основу самые маленькие плитки.
3. Перед применением необходимо промывание бензином или уайт-спиритом. Это требуется для обезжиривания, так как даже минимальные следы жиров (даже кожного сала) помешают правильной притирке.
4. Элементы соединяются друг с другом благодаря эффекту притирки. Он заключается в межмолекулярной диффузии, возникающей между гладкими поверхностями.
5. Если набираются большие длины, то параллелепипеды фиксируются крепежными стяжками.
6. Длины собираются с самой значительной. Потом притирается следующая. Постепенно очередь доходит до самой малой меры.
7. По бокам сформированного блока осуществляется притирка защитных деталей с соблюдением размерности.

Пример составления блока размером 28,495 мм с использованием концевых мер длины (КМД):

1. Из набора КМД № 1 взять меру длины 1,005 мм.
2. Затем взять меры длины 1,49, 6 и 20 мм.
3. Сложить полученные значения: $1,005 + 1,49 + 6 + 20 = 28,495$ мм.

Разновидности концевых мер длины



Рисунок 4.2. Виды концевых мер длины (КМД)

Концевые меры длины подразделяются на:

1. *Рабочие*. Ими настраивают и регулируют станки и инструменты, а также выполняют разметки. Рабочие КМД имеют собственную классификацию, критерий которой – точность. Выделяют классы с делением по степени отличия фактического размера от номинального.

2. *Образцовые*. Они передают эталонные величины концевым мерам, которые имеют меньшую точность. Также с их помощью градуируют и поверяют измерительные устройства. Образцовые меры классифицируются на четыре разряда, и для каждого установлена величина максимальной погрешности при проведении аттестации.

3. *Защитные*. Их можно выделить в самостоятельный вид. Такие КМД используют при измерениях в комплексе с образцовыми или рабочими. Защитные меры фиксируются в сборном, состоящем из нескольких элементов блоке, располагаются по его краям. Их задача – предупреждение быстрого износа плиток, обусловленного контактами с измеряемыми объектами.

Классы точности концевых мер

Есть разные классы концевых мер, которые присваиваются по степени точности и соответствия действующим стандартам, а также по отклонениям от эталона. В РФ используется классификация на образцовые приспособления и рабочие. Первым присваиваются определенные разряды. А каждой рабочей мере назначается класс точности.

Образцовыми изделиями поверяют рабочие меры и измеряющие устройства. Предъявляемые к ним требования и допускаемые отклонения регламентируются методическими инструкциями – МИ 1604-87.

Рабочие КМД, применяемые для передачи эталонных размеров при проведении работ, по точности делятся на группы, указываемые в государственном стандарте, – ГОСТ 9038-90. Всего выделяют 6 классов: 00, 0,1, 0, 1, 2, 3. Такие классы назначаются концевым мерам, подверженным значительному износу или прошедшим процедуру восстановления, и для них действуют отклонения, регламентируемые МИ 1604-87.

В ГОСТ для используемых классов прописываются максимальные отклонения для двух параметров: длины и плоскопараллельности.

В других государствах действуют иные методики разделения на категории. Согласно стандарту ISO 3650:1998 выделяют такие классы:

2. Сюда входят рабочие эталоны, применяемые в специализированных лабораториях, на предприятиях для настройки, калибровки высокоточных станков, измеряющих приборов.

1. Концевыми мерами этого класса, которые также относятся к рабочим эталонам, поверяют устройства, используемые для высокоточных измерений. Данные КМД применяют на контрольных участках, в лабораториях.

0. К такому классу относят меры, применяемые в качестве первичных эталонов в оборудованных измерительных организациях. Они подходят

для замеров с высокой точностью, для калибровок, поверок калибров, оборудования.

К. В этом классе тоже образцовые элементы, применяемые в измерительных и калибровочных отделах и лабораториях аккредитованных центров, метрологических институтов и иных подобных учреждений. Это самые точные эталоны, используемые в качестве образцов при калибровке и поверке других образцовых калибров, измерительных устройств, к которым предъявляются повышенные требования.

Калибровка, поверка КМД

Точность контролируется посредством их поверки и калибровки. Суть первой заключается в сравнении изготовленной новой концевой меры с образцовой, являющейся эталонной. За эталон принимается КМД более высокой категории точности. Результаты после завершения поверочной процедуры заносятся в паспорта, которыми сопровождаются все измерительные инструменты. А калибровка – это доведение концевой меры, погрешность которой превышена, до стандартизированного значения.

Поверки проводятся подразделениями ГМС – Государственной метрологической службы. И они обязательны. А калибровки являются добровольными процедурами, которые могут выполняться различными организациями, например, калибровочными лабораториями, включая негосударственные.

ГОСТы концевых мер

Параметры плоскопараллельных концевых мер длины, изготавливаемых в виде цилиндров или параллелепипедов, регламентируются отдельным государственным стандартом. Это ГОСТ 9038-90, в котором четко прописываются предельные отклонения для разных классов точности, допускаемые коэффициенты термического расширения, области применения, правила поверки, основные величины (длины, поперечные сечения), действующие технические требования, комплектация и формат реализации наборов (тара, наносимая на нее информация), методы контроля, особенности хранения и перевозки.

КМД часто используют со вспомогательными принадлежностями. И для них разработан отдельный нормативный документ – ГОСТ 4119-76.

Размер концевых мер

Размер концевых мер зависит от набора. Градация, то есть шаг, минимально составляет 1 мкм, то есть одну тысячную часть миллиметра. Далее идут шаги, равные 0,01 мм, 0,1, 0,5, 1. Максимальный шаг – 10 миллиметров. Номинальные размеры указываются для всех изделий и наносятся рядом с ячейками, предусмотренными в футляре для каждого параллелепипеда или цилиндра.

Материалы изготовления

Для производств применяют разные материалы:

1. *Металлы.* Это различные твердые сплавы, например, хромистая сталь, которая обладает износостойкостью, а также хорошей притираемостью, являющейся важной для удобной эксплуатации.

2. *Керамика, в частности циркониевая.* Она не царапается, не подвергается быстрому износу и коррозии, не расширяется при контактах с телом человека и стабильно сохраняет исходные формы и размеры.

3. *Стекло.* Стекланные КМД обычно являются эталонными, применяемыми для проверок притираемости, плоскостности других изделий. Также ими можно контролировать ровность плоскостей некоторых рабочих зон, таких как стойки столов.

Комплектность наборов КМД

Набор концевых мер длины – это комплект, состоящий из цилиндров/параллелепипедов разных размеров. Они поставляются в пластиковом либо деревянном футляре. Производитель прилагает паспорт поверки и иную сопроводительную документацию.

Количество КМД зависит от нумерации набора, которая регулируется указанным ранее ГОСТ. В этом же государственном стандарте можно найти количества изделий, градации мер, номинальные проверенные значения длин и классы точности. К примеру, в комплекте № 1 всего восемьдесят три предмета. Их размеры варьируются от 1,005 мм до максимальных 100.

Всего комплектов 37. Наборы с первого по девятнадцатый – это КМД разных длин. А комплекты с двадцатого по тридцать седьмой относятся к специальным, имеющим более узкое назначение.

Дополнительные принадлежности к КМД

Иногда измерения невозможны без дополнительных аксессуаров. Они необходимы, например, для закрепления плиток в многокомпонентных блоках, для защиты боковых частей сборок, для контроля результатов, для проведения сложных или проблематичных внутренних или наружных замеров.

К вспомогательным принадлежностям относятся:

- боковые плоскопараллельные и радиусные детали;
- чертильные и центральные боковики;
- фиксирующие стяжки;
- основания;
- щупы, которыми определяются зазоры, остающиеся между притертыми плоскостями;
- трехгранные линейки;
- державки для высокоточного нанесения разметок.

Перечисленные дополнительные приспособления, как и сами КМД, обычно поставляются в комплектах и выпускаются в соответствии с отдельным

ГОСТ 4119-76. Все принадлежности должны находиться в футляре, в соответствующих гнездах. В упаковку также вкладываются сопроводительные технические документы для подтверждения полного соответствия стандартизированным требованиям.

4.2. Измерение размеров деталей при помощи штангенинструментов

Краткая характеристика и устройство микрометрических инструментов

К штангенинструментам общего назначения относятся: штангенциркуль, штангенглубиномер и штангенрейсмас (рис. 4.3.).

Отсчет в штангенинструментах основан на применении нониуса, т. е. дополнительной шкалы, по которой определяются десятые и сотые доли миллиметров измеряемого размера. Применяются нониусы с ценой деления в 0,1 и 0,05 мм. Пределы измерения выпускаемых инструментов: у штангенциркулей до 3000, у штангенглубиномеров до 500 и у штангенрейсмасов до 2500 мм.

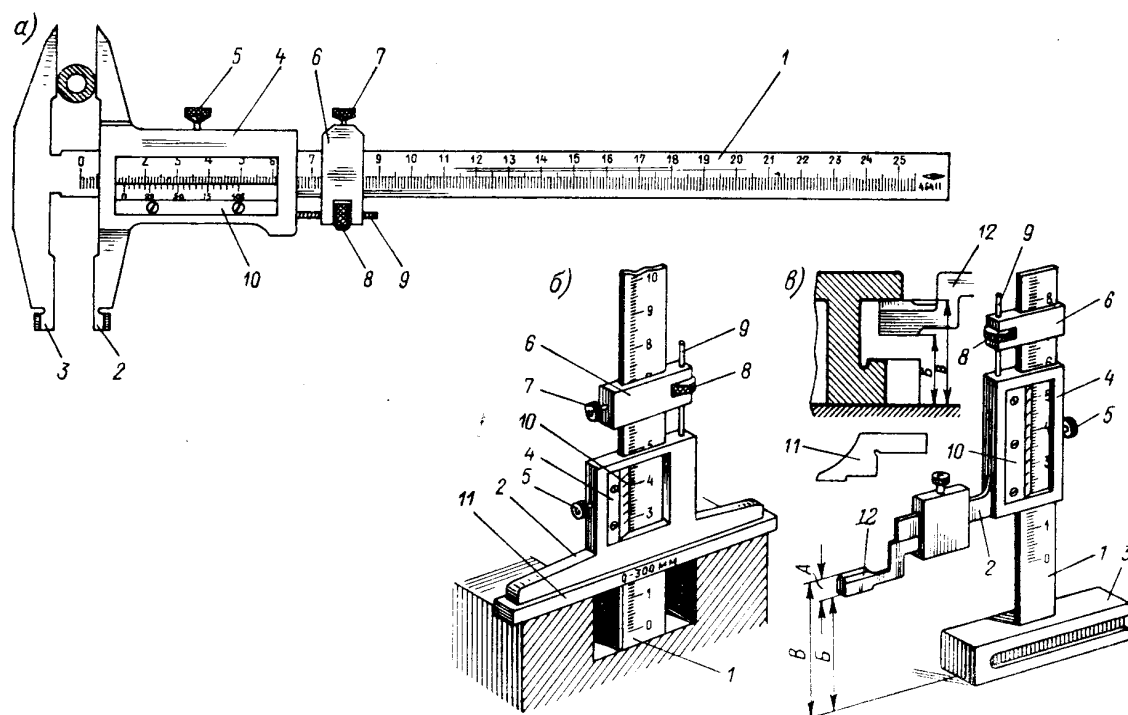


Рисунок 4.3. Штангенинструменты: а – штангенциркуль;
б – штангенглубиномер; в – штангенрейсмас

Штангенциркуль (рис. 4.3, а) предназначен для измерения наружных и внутренних размеров изделий и для разметки. Основанием инструмента служит штанга 1 с неподвижной губкой 3. По штанге перемещается рамка 4 с подвижной губкой 2, нониусом 10 и зажимным винтом рамки 5. Грубое (предварительное) перемещение рамки осуществляется вручную при освобожденных винтах 5 и 7. Точное (окончательное) перемещение рамки производится с помощью микрометрической подачи, состоящей из движка 6,

винта 9, гайки 8 и стопорного винта 7. Для перемещения рамки с помощью микрометрической подачи движок 6 стопорится винтом 7. Измерительные губки имеют плоские поверхности для наружных измерений и закругленные поверхности – для внутренних измерений. На штанге нанесена основная шкала с ценой деления в 0,5 или 1 мм.

Штангенглубиномер (рис. 4.3, б) служит для измерения глубин, высот, расстояний до буртиков или выступов. Торцевой плоский конец штанги является одной из измерительных поверхностей. Штанга перемещается в траверзе с основанием 11, которое является другой измерительной поверхностью, нониусом и зажимным винтом. Устройство для микроподачи такое же, как у штангенциркуля.

Штангенрейсмас (рис. 4.3, в) служит для разметки, а также для измерения высот. На кронштейне штангенрейсмаса 1 с помощью рамки 4 закрепляются сменные ножки: 11 – остро заточенная для разметки, 12 – с двумя измерительными поверхностями (нижняя плоская, верхняя ножевидная) для измерения высот. На ножке маркируется размер А, который выражается обычно целым числом. При пользовании верхней измерительной поверхностью к показаниям Б инструмента необходимо прибавлять толщину ножки $A(B=B+A)$. Устройство для микроподачи такое же, как в штангенциркуле и штангенглубиномере.

Отсчет показаний по нониусу

Отсчет дробных долей миллиметра основан на разной величине интервала между делениями основной шкалы и нониуса (рис. 4.4, а, б). Пусть, например, шкала нониуса разделена на 10 равных частей и занимает длину, равную 9 делениям основной шкалы.



Рисунок 4.4. Нониус: а – размер равен 0; б – размер равен 0,1

Следовательно, одно деление нониуса равно 0,9 мм, т. е. оно короче каждого деления на 0,1 мм. Если сомкнуть вплотную губки штангенциркуля, то нулевой штрих нониуса будет точно совпадать с нулевым штрихом штанги. Остальные штрихи нониуса, кроме последнего, такого совпадения иметь не будут. Первый штрих нониуса не дойдет до первого штриха штанги на 0,1 мм, второй штрих нониуса не дойдет до второго штриха штанги на 0,2 мм и т. д. Десятый штрих нониуса точно совпадает с девятым штрихом штанги (рис. 4.4, а). Такое положение будет повторяться каждый раз, когда нулевой штрих нониуса будет точно совпадать с одним из штрихов штанги. Если сдвинуть рамку таким образом, чтобы первый штрих нониуса (не считая

нулевого) совпал с первым штрихом штанги (рис. 4.4, б), то между губками штангенциркуля образуется зазор, равный 0,1 мм. При совпадении второго штриха нониуса со вторым штрихом штанги зазор между губками уже составит 0,2 мм; при совпадении третьего штриха – 0,3 мм и т. д. Следовательно, тот штрих нониуса, который точно совпадает с каким-либо штрихом штанги, показывает число десятых долей миллиметра. При отсчете показаний на штангенинструментах определяют сначала целое число миллиметров, которое равно числу миллиметров, расположенных слева от нулевого (крайнего левого) штриха нониуса. Если нулевой штрих нониуса окажется между двумя штрихами основной шкалы, то к целому числу миллиметров надо прибавить десятые и сотые доли. Для этого определяют, какой штрих нониуса совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы и умножают порядковый номер этого штриха на цену деления нониуса (0,1; 0,05).

Примечание. При градуировании шкалы нониуса каждый пятый или десятый штрих оцифровывается, цифра 10 обозначает «десять сотых миллиметра» и соответствует пятому делению шкалы нониуса, цифра 20 соответствует десятому делению шкалы нониуса и т. д.

Приемы измерения изделий

При измерении наружных размеров штангенциркулем надо сначала отstopорить винты 5 и 7, раздвинуть губки инструмента (см. рис. 4.3) на величину несколько большую, чем измеряемый размер. Деталь вводят между измерительными плоскостями губок 2, 3, подводят рамку с подвижной измерительной губкой к детали так, чтобы между измерительными поверхностями инструмента и деталью оставался небольшой зазор. Закрепляют стопорный винт микроподачи 7. Вращая гайку микроподачи 8, добиваются плотного соприкосновения измерительных плоскостей инструмента с измеряемой поверхностью детали. После чего закрепляют зажимной винт рамки 5. Получение нормального измерительного давления проверяется наличием плотного прилегания обеих губок к детали и плавного с легким трением скольжения детали между измерительными плоскостями губок при перемещении штангенциркуля. Штангенциркуль снимают с изделия и производят отсчет по основной шкале и нониусу. При измерении внутренних размеров (диаметров отверстий) наружные поверхности измерительных губок вводятся в соприкосновение с поверхностями измеряемой детали. Приемы измерения такие же. Измеряемый размер отверстия определяется как сумма величины отсчета по инструменту и толщины двоянных выступов, обозначенной на губках.

При измерении штангенглубиномером высот и глубин основание траверзы 2 прижимают к торцевой поверхности детали, а штангу осторожно подвигают, сначала вручную, а затем с помощью микроподачи до упора в дно или измеряемый выступ детали. Правильность установки инструмента, если это позволяет конфигурация измеряемой детали, определяют методом световой щели так, чтобы в местах касания плоскостей инструмента с деталью не было

видимого на просвет зазора. После окончательной установки инструмента штангу стопорят винтом 5 и снимают отсчет по основной шкале и нониусу.

Штангенрейсмас при измерении вместе с измеряемой деталью устанавливается на проверочную плиту. Деталь устанавливается так, чтобы с плоскостью плиты совпадала та плоскость детали, от которой будет производиться отсчет измеряемых размеров. При микрометрической подаче рамки для достижения требуемого измерительного давления перемещают по плите деталь или штангенрейсмас.

4.3. Измерение размеров деталей при помощи микрометрических инструментов

Краткая характеристика и устройство микрометрических инструментов

Отсчетное устройство микрометрических измерительных инструментов основано на преобразовании вращательного движения в поступательное с помощью точной (микрометрической) винтовой пары.

К распространенным микрометрическим инструментам общего назначения относятся: микрометры для наружных измерений (рис. 4.5, а), микрометрические нутромеры (штихмасы) для измерения отверстий и микрометрические глубиномеры для измерения глубин и высот (рис. 4.5, б). Основные части микрометрических инструментов: скоба 1, неподвижная пятка 2, винт 3, стебель 4, барабан 6, стопор 7. Пятка и стебель неподвижно соединены со скобой. Стебель представляет собой полый цилиндр, на внутренней поверхности которого нарезана резьба. Для регулирования зазора в микрометрической паре служит гайка 9. По внутренней резьбе стебля перемещается винт, закрепленный в подшипнике 10 (рис. 4.5, в).

Шаг винта в микрометрических инструментах, как правило, равен 0,5 мм. Измерительными поверхностями являются торец пятки и торец микровинта. Второй конец микровинта неподвижно соединен с барабаном, перемещающимся по стеблю микрометра.

Таким образом, за один оборот барабана торец винта перемещается на 0,5 мм. Трешотка 5 предназначена обеспечить постоянство измерительного усилия. Головка трещотки 5 соединена с барабаном при помощи храповичка, собачка 13 которого поджата пружиной 11. В процессе измерения соприкосновение измерительной поверхности микровинта с объектом измерения достигается вращением трещотки. Когда измерительное усилие достигнет требуемой величины, храповичок начнет проскальзывать и будет слышен характерный звук трещотки. После этого дальнейшее вращение трещотки не будет вызывать перемещение микровинта. Трешотки микровинтов рассчитаны на измерительное усилие в пределах 700 ± 200 г. Стопорное устройство 7 предназначено сохранить показание микрометра при снятии его с детали, а также облегчить установку микрометра на нуль. Микрометры выпускаются с различными пределами измерения. Диапазон измерений микрометрами

составляет от 0 до 1600 мм (от 0 до 300 мм со ступенью в 25 мм; от 300 до 600 мм со ступенью в 100 мм; от 1000 до 1600 мм со ступенью в 200 мм).

Микрометрический глубиномер (рис. 4.5, б) имеет широкую измерительную поверхность основания 2 и сменные измерительные стержни 3, что обеспечивает устойчивость и возможность проведения измерения глубин отверстий и пазов.

При выборе удлинителей от проверяемого размера отнимают нижний предел измерений 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.

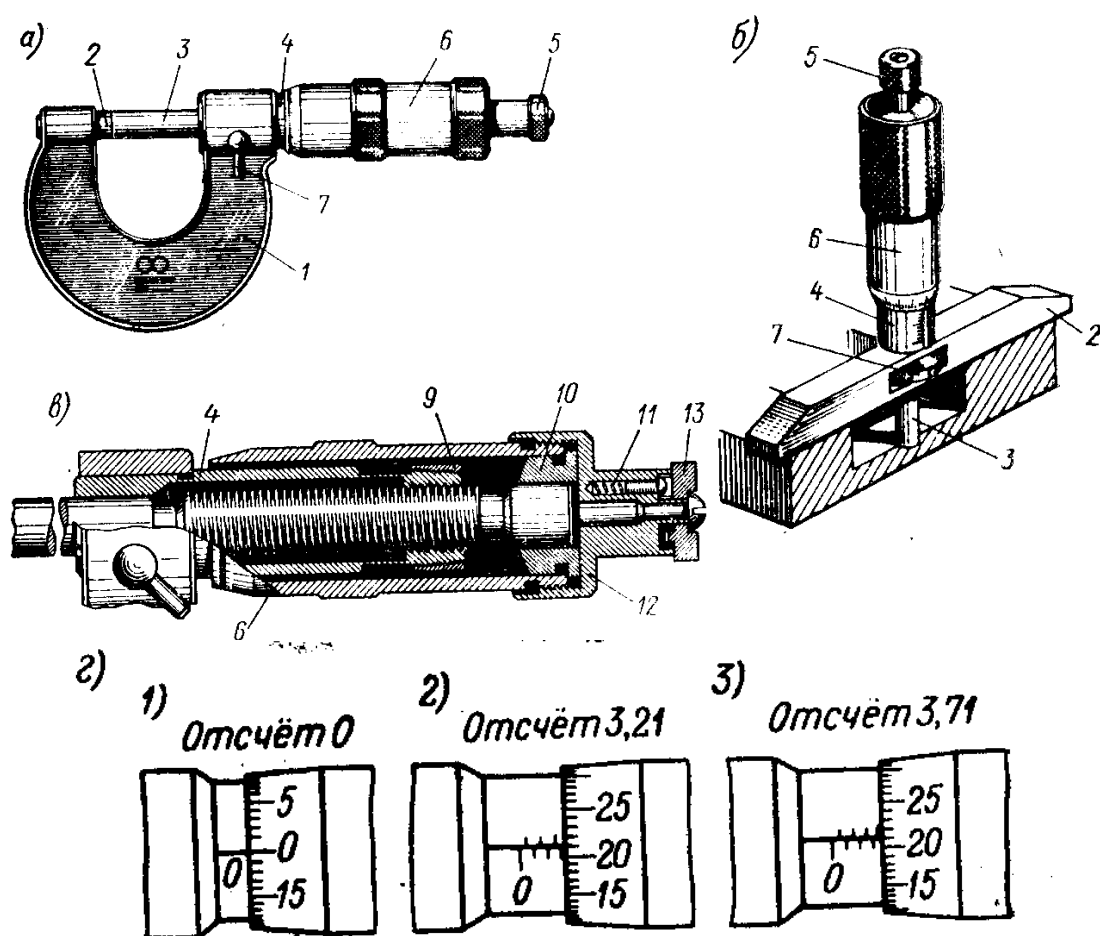


Рисунок 4.5 – Микрометрические инструменты: а – микрометр; б – микрометрический глубиномер, в – устройство микрометрической головки; г – варианты отсчетов

Проверка и установка нулевого показания

Перед началом измерения проверяется нулевое показание круговой шкалы так называемой «установки на нуль». Проверка производится на начальном делении шкалы. Для микрометра с пределами измерения 0–25 – на нулевом

делении шкалы; для микрометров 25–50 – на делении 25 и т. д. При проверке микрометра 0–25, осторожно вращая микровинт за трещотку, приводят в соприкосновение измерительные поверхности винта и пятки. У микрометров 25–50 торцы микровинта и пятки приводят в соприкосновение с плоскопараллельной концевой мерой длины, размером 25 мм или со специальной установочной цилиндрической мерой, прилагаемой к микрометру. При указанном соприкосновении скошенный край барабана должен установиться так, чтобы штрих начального деления основной (миллиметровой) шкалы (нуль или 25, или 50, и т. д.) был полностью виден, а нулевое деление круговой шкалы барабана остановилось против большого продольного штриха на стебле (см. рис. 4.5, *г* – “отсчет 0”). Если этого нет, то необходимо выполнить следующие действия: 1) закрепить микровинт стопором; 2) разъединить барабан с микровинтом; 3) установить барабан и закрепить его; 4) произвести проверку нулевого положения.

Проверка нулевого положения микрометрического глубиномера производится на измерительной плите. При пределах измерения 0–25 мм глубиномер устанавливается измерительной поверхностью траверзы (основания 2) непосредственно на плиту. При пределах измерения свыше 25 мм между траверсой и плитой ставится установочная мера (прилагается в комплекте с глубиномером). В остальном дальнейшая проверка такая же, как и у микрометра.

Отчет показаний по шкале

На наружной цилиндрической поверхности стебля микрометра нанесен большой продольный штрих и две миллиметровые шкалы, расположенные по обе стороны продольного штриха; причем верхняя шкала смещена относительно нижней на 0,5 мм. На скошенном торце барабана нанесена круговая шкала, имеющая 50 делений. Следовательно, цена одного деления $0,5:50=0,01$ мм. Перемещение микровинта, соответствующее его полным оборотам (0,5 мм), отсчитывается по шкалам на стебле. При этом нижняя шкала показывает число миллиметров, а верхняя – 0,5 мм. Доли оборота, т. е. сотые доли миллиметра, отсчитываются по круговой шкале на барабане. Число сотых долей соответствует делению шкалы, расположенному против большого продольного штриха на стебле. Примеры отсчета приведены на рисунке 4.5, *г*.

При ввинчивании микровинта микрометрического глубиномера показания не уменьшаются, как у микрометра, а увеличиваются. Поэтому цифры на шкале стебля и барабана указаны в обратном порядке: на стебле цифры увеличиваются справа налево, а на барабане – по часовой стрелке. В остальном отсчет по шкале производится аналогично тому, как это делается на микрометре.

Приемы измерений

При измерении микрометром отводят измерительную поверхность микровинта, вращая барабан *б*, на необходимое расстояние. Между измерительными поверхностями микрометра помещают измеряемый объект. Если зазор между измерительными поверхностями и объектом измерения

получился большим, то, вращая барабан 6, уменьшают этот зазор до 1–2 мм. Окончательное соприкосновение измерительных поверхностей микрометра с измеряемой деталью осуществляют вращением трещотки 5. Для удобства измерений микрометр закрепляется в стойке.

При измерении микрометрическим глубиномером левой рукой прижимают основание 2 (траверзу) к поверхности детали, а правой рукой, вращая трещотку в конце хода измерительного стержня, доводят измерительный стержень до соприкосновения с другой поверхностью детали и стопорят микровинт.

4.4. Измерения размеров деталей индикаторным нутромером

Краткая характеристика и устройство индикаторного нутромера

Индикаторный нутромер, применяемый для измерения диаметров отверстий, представляет собой сочетание индикатора той или иной конструкции: часового типа или рычажно-зубчатого с системой нутромера (рис. 4.6, а, б).

Наименьший диаметр измеряемых отверстий 6 мм, наибольший предел измерения 1000 мм (в зависимости от диапазона измерения).

Индикатор 1 закреплен в корпусе нутромера 2. В измерительную головку 5 ввернут сменный неподвижный наконечник, соответствующий диаметру измеряемого отверстия. Подвижный наконечник 9 через коленчатый рычаг 6 и шток связан с измерительным стержнем индикатора. Контакт между ними обеспечивается пружиной 12. Для правильной ориентации прибора в горизонтальной плоскости измеряемого отверстия служит центрирующий мостик 11. При измерении подвижный наконечник прибора одним торцом упирается в коленчатый рычаг 6, а вторым – касается поверхности измеряемого отверстия, воспринимая отклонения последнего от установочного размера. При этом коленчатый рычаг перемещает шток 4, который передает движение измерительному стержню индикатора. Таким образом, незначительное нажатие на подвижной наконечник 9 будет отмечаться поворотом стрелки индикатора. Так как плечи рычага 6 одинаковы, то цена деления индикатора сохраняется без изменения. Для изоляции прибора от температуры рук рукоятки 3 выполняются из нетеплопроводных материалов.

Установка прибора на нуль и приемы измерений

Для определения номинального значения измеряемого отверстия последнее измеряется штангенциркулем и полученный результат округляется до целого числа миллиметров. В зависимости от диаметра отверстия подбирается сменный наконечник 8. На наконечник навинчивается стопорная гайка 7. Затем наконечник с гайкой ввинчивается в измерительную головку 5 прибора. Из набора принадлежностей к концевым мерам длины подбираются два боковичка 13 (рис. 4.6, б) с гладкими измерительными плоскостями и трубочина 14 по размеру отверстия. Блок плиток с двумя боковичками по бокам вставляется и зажимается в трубочине. Осторожно отжимая центрирующий мостик 11

(рис. 4.6, *а*), подготовленный к измерению прибор вводят в пространство между боковичками 13. Во время окончательного закрепления сменного наконечника необходимо следить за тем, чтобы стрелка индикатора сделала один-два оборота (создать “натяг”, вывинчивая наконечник 8), а стрелка отсчета чисел оборотов остановилась на целом числе. Медленно покачивая нутромер и поворачивая его вокруг оси корпуса (рис. 4.6, *б*), находят минимальный размер, т. е. крайнее положение стрелки индикатора при движении ее по часовой стрелке. К этому ее положению поворотом ободка индикатора подводится нулевое деление шкалы. Затем повторным покачиванием прибора следует проверить правильность нулевой установки и запомнить показание указателя оборотов. Отжимая центрирующий мостик, прибор снимается с установочной трубки и вводится в измеряемое отверстие. Небольшим и медленным покачиванием в тех же направлениях, что и при настройке на нуль, находят наименьшее показание прибора. Измерения производятся по схеме, указанной в журнале. Диаметр отверстия равен алгебраической сумме установочной меры и показания прибора. Половина алгебраической разности между показаниями индикатора по двум взаимно перпендикулярным диаметрам характеризует отклонение от круглости (овальность); полуразность показаний вдоль оси отверстия указывает на величину погрешности продольного сечения, а расположение максимальной и минимальной ее величины – на ее форму.

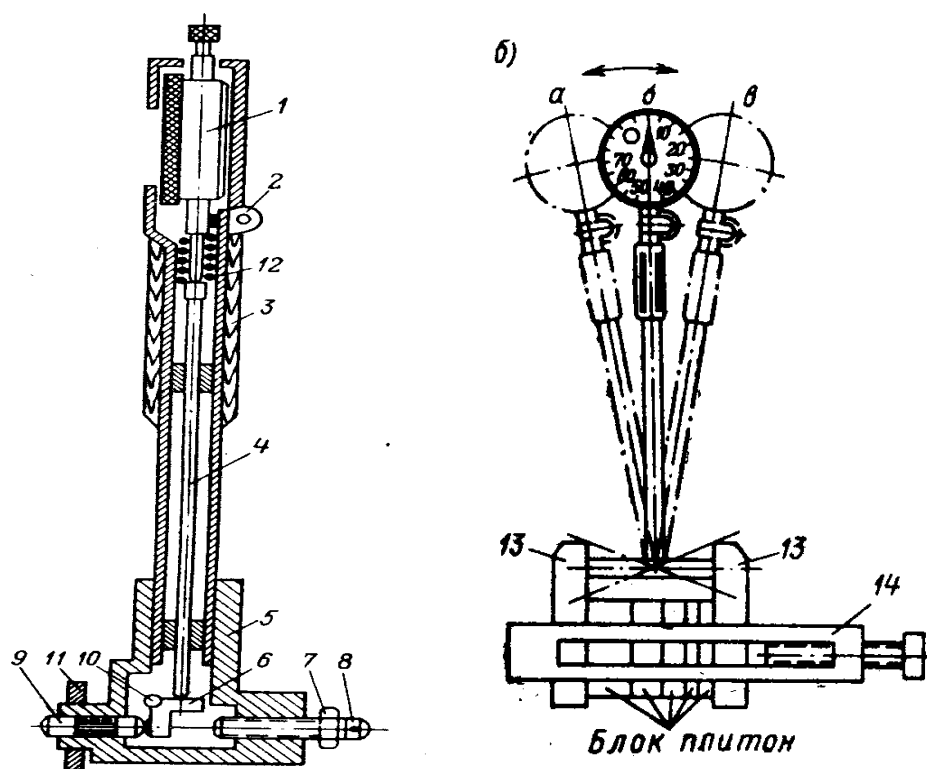


Рисунок 4.6. Индикаторный нутромер: *а* – кинематическая схема; *б* – схема настройки на нуль

Примечание. На практике, при отсутствии набора к концевым мерам, допускается установка индикаторного нутромера на нуль по микрометру.

4.5. Измерение размеров индикаторной скобой

Индикаторная скоба (рис. 4.7) является очень точным измерительным прибором.

В ее корпусе 1 с одной стороны установлен индикатор 5 часового типа с арретиром 6. Подвижная пятка 4 постоянно отжимается в сторону изделия измерительным наконечником индикатора и специальной пружиной. Переставная пятка 3 при освобожденном штопоре 2 и сменном колпачке может перемещаться в пределах до 50 мм. Упор 7 при настройке скобы устанавливается так, чтобы линия измерения проходила через ось контролируемого изделия. Индикаторные скобы снабжены накладками 8 из теплоизоляционного материала.

Перед измерением наружных размеров скобой необходимо протереть измерительные поверхности. Предварительная протирка проводится тканью, смоченной в бензине, а окончательная – сухой тканью или папиросной бумагой. Контролируемые изделия должны быть сухими и чистыми.

При нажатии на кнопку или рычаг арретира 6 подвижная пятка 4 скобы должна перемещаться плавно, без задержки.

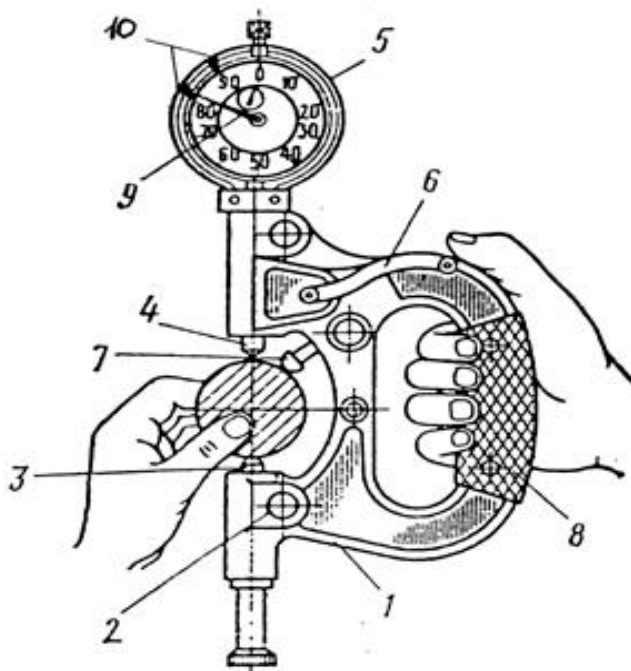


Рисунок 4.7. Устройство индикаторной скобы типа СИ 50, СИ 100 по ГОСТ 11098-75: 1 – корпус; 2 – стопор; 3 – переставная пятка; 4 – подвижная пятка; 5 – индикатор часового типа; 6 – арретир; 7 – упор; 8 – накладка; 9 – стрелка; 10 – указатели границ поля допуска

Для настройки скобы на нулевое деление предварительно составляют блок ПКМД по номинальному размеру контролируемого изделия. Освобождают стопор переставной пятки и снимают предохранительный колпачок. Установив блок ПКМД между измерительными поверхностями и перемещая одновременно

переставную пятку 3, устанавливают стрелку 9 на нулевое деление, после чего осторожно, чтобы не сбить нулевую отметку, переставная пятка стопорится и закрывается защитным колпачком. Проверяют стабильность показаний отсчетного устройства. Для этого, нажимая на арретир 6 (его называют также отводкой), отводят подвижную пятку 3–4 раза от блока ПКМД. При этом стрелка не должна смещаться с нулевой отметки более чем на половину деления. Снова нажав на арретир, вынимают блок ПКМД.

При измерении скобу рекомендуется держать так, чтобы ее полная масса не передавалась на подвижную пятку. Нажав на арретир, между измерительными поверхностями пяток вводят контролируемое изделие, затем, опустив арретир, отсчитывают показания по шкале отсчетного устройства с учетом знака "+" или "-". Действительный размер изделия определяется суммированием номинального размера настроенного блока ПКМД и отклонения отсчетного устройства.

В производственных условиях, когда важно знать не размер изделия, а его годность, выполняют все операции установки скобы на ноль, приведенных выше, затем устанавливают указатели 10 границ поля допуска по отношению установленного нуля скобы. Изделие считается годным, если стрелка отсчетного устройства не выходит за границы указателей пределов допуска. По окончании измерений вновь устанавливают блок ПКМД и проверяют, не сбилась ли нужная установка.

4.6. Калибры

Калибры – это тела или устройства, предназначенные для проверки соответствия размеров изделий или их конфигурации установленным допускам. Они применяются чаще всего для определения годности деталей с точностью 6–18 квалитетов, а также в устройствах активного контроля, работающих по принципу «западающего калибра».

Калибры применяются для выполнения операций технического контроля. В условиях массового и крупносерийного производства широко используют контрольные инструменты в виде калибров.

С помощью предельных калибров определяют не численное значение контролируемого параметра, а выясняют, выходит ли этот параметр за предельные значения или находится между двумя допустимыми.

При контроле деталь считается годной, если проходная сторона калибра (ПР) под действием усилия, примерно равного массе калибра, проходит, а непроходная сторона калибра (НЕ) не проходит по контролируемой поверхности детали. Если ПР не проходит, деталь относят к бракованным с исправимым браком. Если НЕ проходит, деталь относят к бракованным с неисправимым браком.

Виды калибров

Самая простая классификация делит калибры на предельные, нормальные и регулируемые.

Нормальные калибры (они же шаблоны) используют для проверки сложных профилей.

Предельные калибры применяют для контроля размера детали в поле допуска. Эти измерительные инструменты имеют проходную и непроходную стороны. При конструировании предельных калибров учитывают принцип Тейлора, согласно которому проходной калибр служит прототипом сопрягаемой детали и контролирует размер по всей длине соединения. Непроходной калибр контролирует только размер детали, поэтому имеет небольшую длину.

Есть несколько видов предельных калибров. Это калибры-скобы, калибры-пробки, резьбовые калибры-пробки, резьбовые калибры-кольца и т. п. Инструмент используется для измерения цилиндрических, конусных, резьбовых и шлицевых поверхностей.

Регулируемые калибры занимают промежуточное положение между микрометром и предельным калибром. Они имеют малый диапазон регулировки и демонстрируют высокую точность измерений, настраиваются под предельные размеры.

Основные классификации калибров по ГОСТ 27284-87.

ГОСТ 27284-87 предлагает выделять основные виды калибров с учетом выбранного критерия. По количеству критериев используют четыре классификации:

1. По виду контролируемых изделий различают калибры для проверки гладких цилиндрических изделий (валов и отверстий), гладких конусов, цилиндрической наружной и внутренней резьбы, конической резьбы, линейных размеров, зубчатых соединений, расположения отверстий и т. п.
2. По технологическому назначению выделяют рабочие калибры, которые используют сотрудники ОТК для контроля изделий в процессе изготовления, и контрольные калибры, которые служат для проверки рабочих калибров.
3. По числу контролируемых элементов различают комплексные калибры, которые контролируют сразу несколько частей изделия, и простые для проверки только одного параметра.
4. По характеру контакта с изделием выделяют калибры с поверхностным (пробки), линейным (скобы) и точечным контактом.

Расскажем подробнее о типах калибров, которые различаются по виду контролируемого изделия.

Виды гладких калибров

Виды гладких калибров для цилиндрических отверстий и валов устанавливает ГОСТ 24851-81. В системе ИСО гладкие калибры стандартизованы ИСО-Р1938-1971.

Стандарт предусматривает следующие гладкие калибры для валов и относящиеся к ним контрольные калибры:

- ПР – проходной калибр-скоба;
- НЕ – непроходной калибр-скоба;
- К-ПР – контрольный проходной калибр для нового гладкого калибр-скобы;
- К-НЕ – контрольный непроходной калибр для нового гладкого калибр-скобы;
- К-И – контрольный калибр для контроля износа гладкого проходного калибр-скобы.

Для контроля отверстий предусмотрены:

- ПР – проходной калибр-пробка;
- НЕ – непроходной калибр-пробка.

Калибр-пробки для контроля отверстий

Применяют предельные калибр-пробки различных конструкций (ГОСТ 14827-69). К ним относятся: пробки двусторонние с цилиндрическими вставками (рис. 4.8, а) и со вставками с коническим хвостовиком (рис. 4.8, б, в), пробки с цилиндрическими насадками (рис. 4.8, г), пробки полные (рис. 4.8, д, е), пробки неполные (рис. 4.8, з), пробки односторонние листовые (рис. 4.8, ж), шайбы неполные и шайбы полные (рис. 4.8, з).

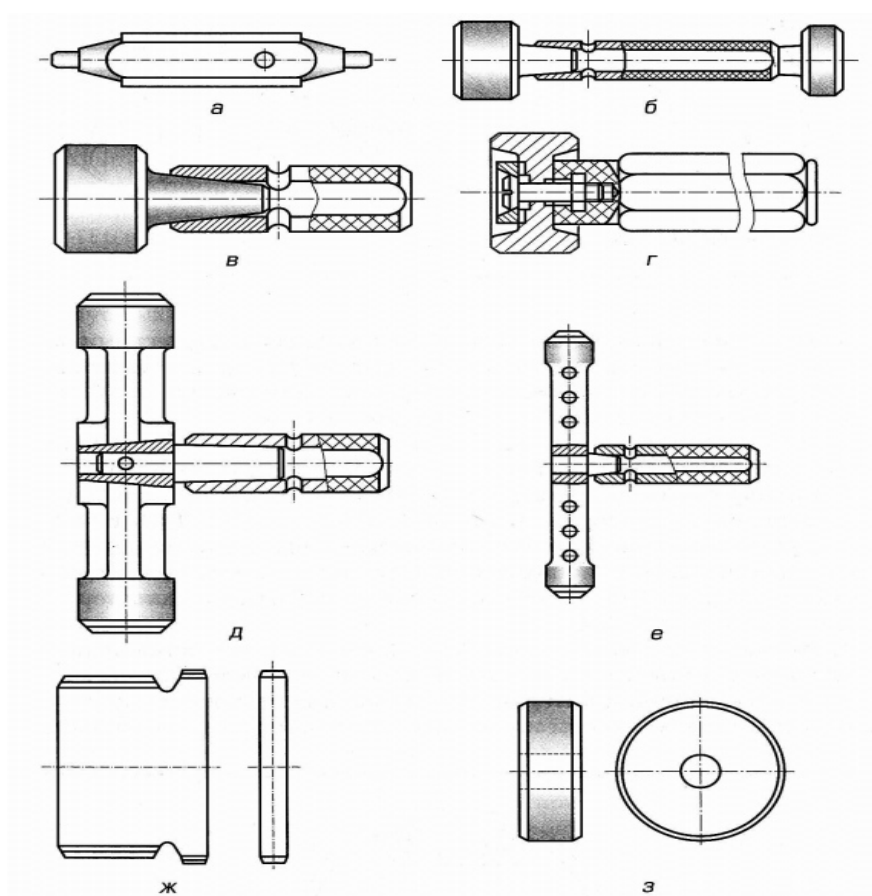


Рисунок 4.8. Калибр-пробки

Предпочтение отдают односторонним предельным калибрам. Они сокращают время контроля изделий и расход материала.

Калибр-скобы для контроля валов

Применяют предельные и регулируемые калибр-скобы (ГОСТ 18358-93 – ГОСТ 18360-93). К предельным калибр-скобам относятся: скобы листовые односторонние (рис. 4.9, а) и двусторонние; скобы штампованные односторонние (рис. 4.9, б), двусторонние (рис. 4.9, в) и односторонние с ручкой (рис. 4.9, г).

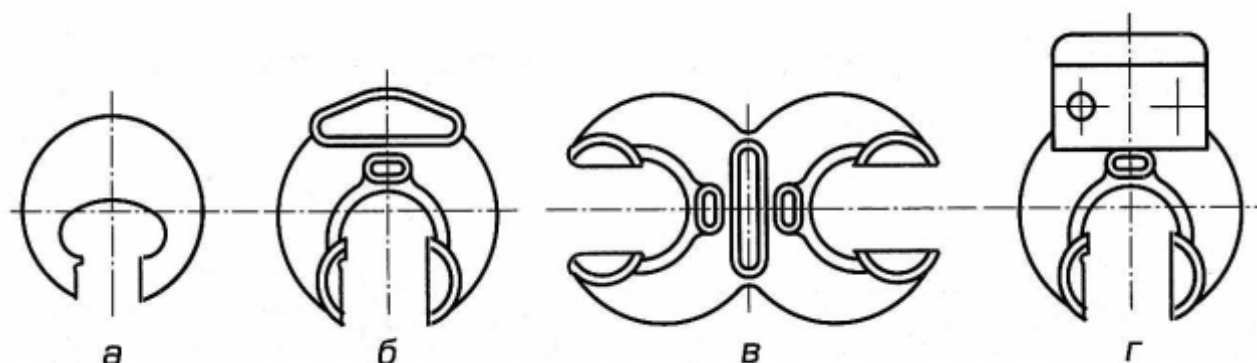


Рисунок 4.9. Калибр-скобы

Регулируемые калибр-скобы (рис. 4.10) позволяют компенсировать износ и могут настраиваться на разные размеры, относящиеся к определенным интервалам. Однако по сравнению с нерегулируемыми скобами они имеют меньшую точность и надежность и обычно применяются для контроля размеров с допусками не точнее 8 квалитета точности.

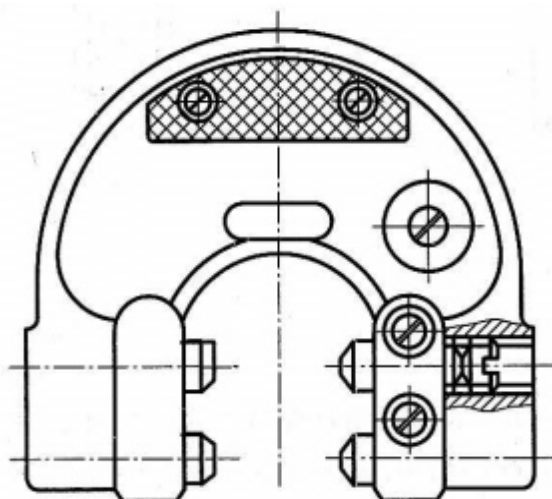


Рисунок 4.10. Регулируемый калибр-скоба

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

Рабочие калибры предназначены для контроля деталей в процессе их изготовления. Ими пользуются операторы и наладчики оборудования, а также контролеры ОТК завода-изготовителя.

Приемные калибры применяют для приемки деталей представителями заказчика.

Для установки регулируемых калибр-скоб и контроля нерегулируемых калибр-скоб, а также для изъятия из эксплуатации вследствие износа применяют *контрольные калибры* (К-И), которые имеют форму шайб (рис. 4.8, з). Несмотря на малый допуск контрольных калибров, они все же искажают установленные поля допусков на изготовление и износ рабочих калибров, поэтому вместо них, по возможности, целесообразно применять концевые меры длины или универсальные измерительные приборы.

Вставки и насадки калибр-пробок изготавливают из сталей Х по ГОСТ 5950-2000 или ШХ-15 по ГОСТ 801-2022. Допускается изготовление вставок и насадок из сталей У10А или У12А для калибров всех видов, кроме неполных калибр-пробок, получаемых штамповкой, а также из стали 15 или 20 для калибров диаметром более 10 мм.

При изготовлении деталей калибров с рабочей поверхностью из цементуемой стали 15 или 20 толщина слоя цементации должна быть не менее 0,5 мм. Рабочие поверхности, а также поверхности заходных и выходных фасок (притуплений) калибр-пробок всех видов размером 1–100 мм (кроме листовых и неполных калибр-пробок) хромируют или наносят другое износостойкое покрытие.

Твердость рабочих поверхностей и поверхностей заходных и выходных фасок калибр-пробок с хромовым покрытием – HRC 57–65. Параметры шероховатости рабочих поверхностей должны находиться в пределах Ra 0,04–0,32 мкм в зависимости от вида калибра, точности контролируемого параметра изделия и его размера.

Для повышения износостойкости и снижения затрат в условиях производства часто применяют калибры со вставками и насадками из твердосплавных материалов (ГОСТ 16775-93 и ГОСТ 16780-71). Износостойкость таких калибров в 50–150 раз выше по сравнению с износостойкостью хромированных калибров при повышении стоимости калибров в 3–5 раз.

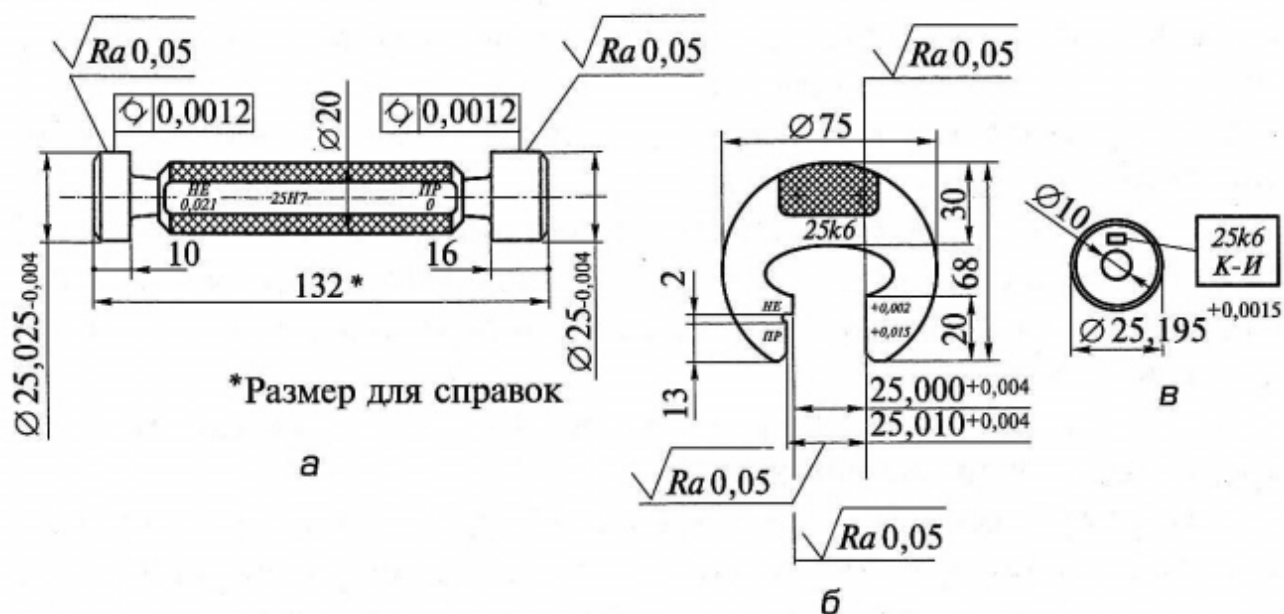


Рисунок 4.11. Эскизы калибр-пробки (а); калибр-скобы (б) и калибр-шайбы (в)

Технические требования на гладкие нерегулируемые калибры устанавливает ГОСТ 2015-84.

Маркировка калибра предусматривает номинальный размер детали, для которого предназначен калибр, буквенное обозначение поля допуска изделия, числовые значения предельных отклонений изделия в миллиметрах (на рабочих калибрах), тип калибра (например, ПР, НЕ, К-И) и товарный знак завода-изготовителя.

На рисунке 4.9 представлены эскизы калибр-пробки (ГОСТ 14810-69), калибр-скобы (ГОСТ 18360-93) и контрольного калибр-шайбы с указанием типовой маркировки, исполнительных размеров, точности формы и шероховатости рабочих поверхностей.

Калибры для контроля глубин и высот уступов

Эти калибры (рис. 4.12) составляют особую группу. Конструктивно представляют собой ступенчатые пластины той или иной формы. ГОСТ 2534-77 предусматривает виды калибров с охватом размеров 1–500 мм 11–18 квалитетов точности. Калибрами определяют годность изделия по наличию зазора между соответствующими плоскостями калибра и изделия. Вместо проходной и непроходной сторон у этих калибров имеются стороны, соответствующие наибольшему (Б) и наименьшему (М) предельным размерам изделия.

Основными методами контроля являются следующие методы: световой щели, или на просвет, надвигания, осязания, по рискам.

От выбранного метода зависят и средства контроля:

- калибры для контроля на просвет (рис. 4.12, а, б, в);
- калибры для контроля методом надвигания (рис. 4.12, г, д, е);

- калибры для контроля методом осязания (рис. 4.12, ж, з);
- калибры для контроля по рискам (рис. 4.12, и, к).

Калибрами по методу на просвет контролируют допуски не менее 0,04–0,06 мм. Минимальные допуски изделий, контролируемых ступенчато-стержневыми калибрами, составляют 0,03 мм, контролируемых по осязанию – 0,01 мм.

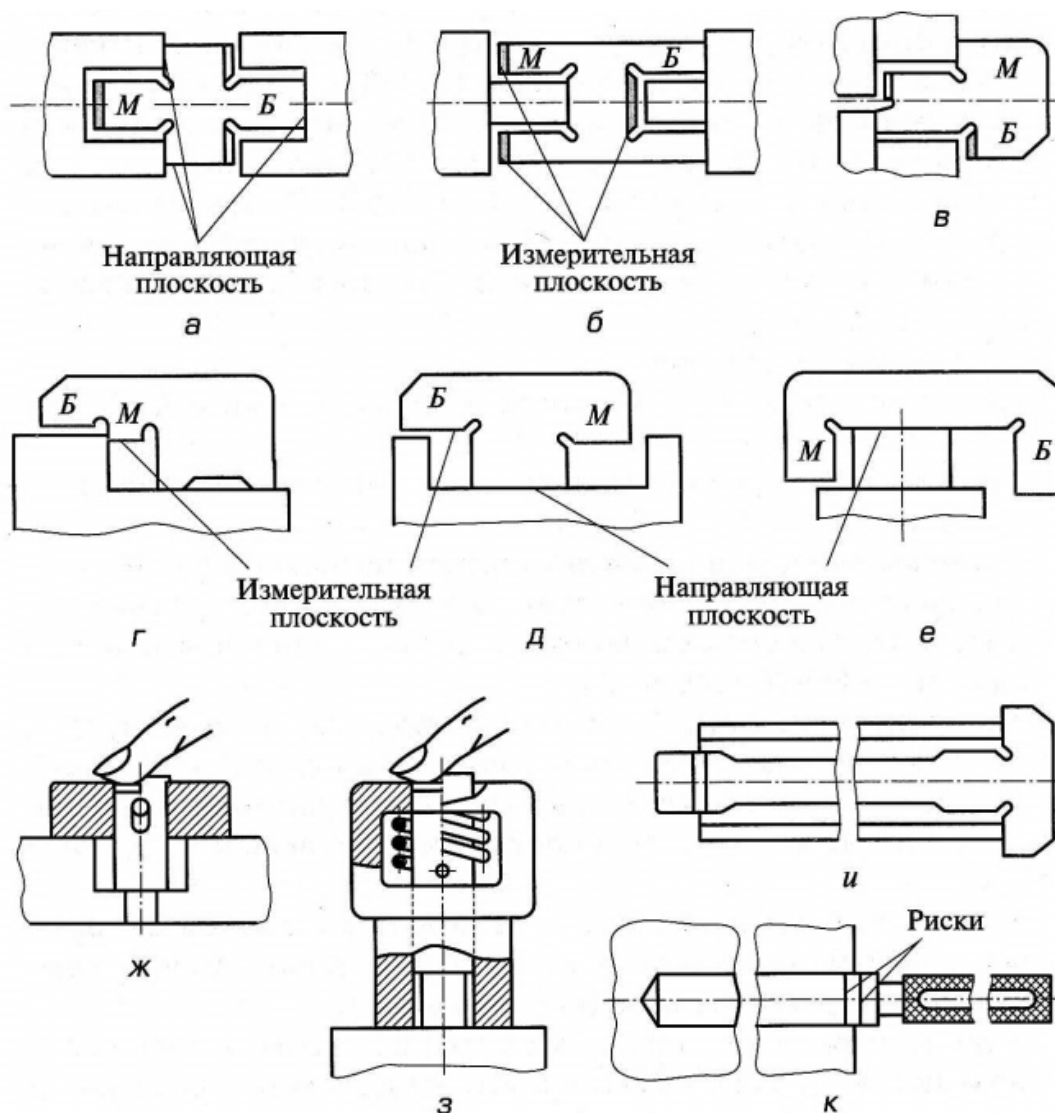


Рисунок 4.12. Калибры для контроля глубин и высот уступов

В системе ИСО предельные калибры для глубин и высот не стандартизованы.

Конусные калибры

Контроль наружных конусов выполняется конусными калибр-втулками, а контроль внутренних конусов – конусными калибр-пробками. ГОСТ 24932-81 устанавливает виды и исполнения калибров для гладких конусов с отдельным нормированием каждого вида допуска с диаметрами в заданном сечении до 200 мм, конусностью от 1:3 до 1:50, допусками диаметров 6–12 квалитетов,

допусками углов конусов 4–9 степеней точности. Некоторые представители конусных калибров изображены на рисунке 4.13.



Рисунок 4.13. Виды конусных калибров

Примеры обозначения:

- калибр-штулка 40 4-й и 5-й степени точности – «Штулка 40 АТ4, ГОСТ 20305-94»;
- контрольный калибр-пробка 60 6-й и 7-й степени точности – «Пробка 60-К АТ6, ГОСТ 20305-94».

Калибры для контроля расположения поверхностей

Допуски, методика расчета исполнительных размеров и общие указания по применению калибров для контроля расположения поверхностей установлены ГОСТ 16085-80.

Он распространяется на калибры неразъемной конструкции, предназначенные для контроля поверхностей (их осей или плоскостей симметрии) с зависимыми допусками расположения, а также для контроля прямолинейности оси при зависимом допуске формы.

Измерительные поверхности калибров расположения представляют собой композицию элементов, воспроизводящих совокупность поверхностей сопрягаемых деталей.

При этом размеры отдельных измерительных поверхностей выполняют по самому неблагоприятному для сборки размеру (по проходному пределу), а их относительное расположение или положение относительно базового элемента с очень высокой точностью выдерживают по указанным на чертеже изделия номинальным размерам.

Калибры контроля точности цилиндрической резьбы

С помощью калибров используют комплексный и дифференцированный (поэлементный) методы. Комплексный метод применяют для резьбовых деталей, допуск среднего диаметра которых является суммарным. Он основан на одновременном контроле среднего диаметра (d_2 (D_2)), шага (P), половины угла профиля ($a/2$), а также внутреннего (d , (D)) и наружного (d (D)) диаметров

резьбы путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельными.

При дифференцированном методе контроля отдельно проверяют внутренний и наружный d диаметры, шаг P и половину угла профиля $a/2$ с помощью обычных гладких калибров и шаблонов.

Все виды калибров и контркалибров (всего 37 видов) для цилиндрической резьбы (метрической, трапецеидальной, трубной и упорной) устанавливает ГОСТ 24939-81.

Конструктивные размеры резьбовых калибров и их элементов регламентируют ГОСТ 18465-73 и ГОСТ 18466-73.

В комплект резьбовых калибров входят рабочие гладкие и резьбовые проходные и непроходные калибры, калибры и контркалибры (КПР, ПР, КПР-НЕ, КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ, КИ-НЕ, У-НЕ, У-ПР) для проверки и регулирования (установки) рабочих резьбовых скоб и колец.

Условное обозначение (номер вида) некоторых калибров по ГОСТ 24997-2004:

- ПР (1) – калибр-кольцо резьбовой нерегулируемый;
- КПР-ПР (2) – калибр-пробка резьбовой контрольный проходной для нового резьбового проходного нерегулируемого калибр-кольца;
- КНЕ-НЕ (3) – калибр-пробка резьбовой контрольный непроходной для нового резьбового проходного нерегулируемого калибр-кольца;
- ПР (4) – калибр-кольцо резьбовой проходной регулируемый;
- ПР (7) – калибр-скоба резьбовой проходной;
- У-ПР (8) – калибр-пробка резьбовой установочный для резьбового проходного калибр-скобы.

Проходные резьбовые калибры должны свинчиваться с проверяемой резьбой. Свинчиваемость калибра с гайкой означает, что приведенный средний и наружный диаметры резьбы гайки не выходят за установленные наименьшие предельные размеры.

Маркировка резьбового калибра предусматривает нанесение обозначения резьбы, поля допуска резьбы, назначения калибра (например, ПР), товарного знака предприятия-изготовителя, а на калибрах с левой резьбой предусматривается добавление букв «Ш».

На калибрах, используемых для собственных нужд предприятия-изготовителя, товарный знак может не наноситься.

Номинальный шаг резьбы (или число ниток на дюйм) определяется с помощью резьбовых шаблонов (резьбомеров) (рис. 4.14, *а*). В соответствии с ТУ 2-034-228-87 резьбовые шаблоны выпускают наборами для метрической резьбы с шагом от 0,4 до 6 мм включительно (20 шаблонов) и для дюймовой резьбы с числом ниток на дюйм от 28 до 4 включительно (17 шаблонов).

При наложении шаблона на профиль резьбы (рис. 4.14, *б*) следует использовать возможно большую его длину, так как это повышает точность определения шага.

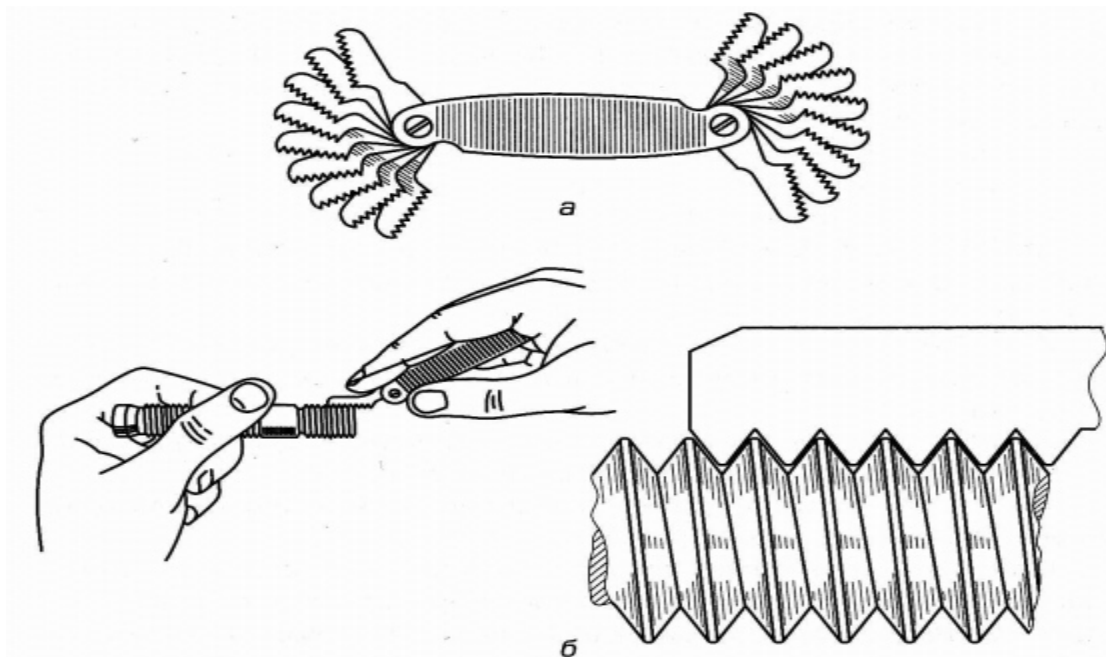


Рисунок 4.14. Резьбовые шаблоны (резьбомеры):
a – набор; *б* – принцип контроля

Комплексные проходные калибры

Точность размеров, формы и положения поверхностей у деталей с прямобочными шлицами, как правило, контролируют комплексными проходными калибрами (ГОСТ 24959-81, ГОСТ 24960-81): шлицевые втулки проверяют калибр-пробками, а шлицевые валы – калибр-кольцами.

При необходимости производят также поэлементный контроль центрирующих и нецентрирующих диаметров, ширины впадин и шлицев специальными гладкими калибрами по ГОСТ 24961-81 – ГОСТ 24968-81.

Условное обозначение калибра состоит из наименования калибра («пробка» или «кольцо»), номера вида калибра, условного обозначения шлицевой втулки вала, для которых предназначен данный калибр, степени точности калибра и обозначения стандарта.

Примеры обозначения:

- калибр-кольца 1-го вида 4-й степени точности для вала 50x2x9д по ГОСТ 6033-80 – «Кольцо 1-50x2x9g/4, ГОСТ 24969-81»;
- комплексного калибр-пробки 5-го вида 4-й степени точности для шлицевой втулки 50x2x9Н по ГОСТ 6033-80 – «Пробка 5-50x2x 9Н/4 ГОСТ 24969-81».

Калибры-щупы

Это нормальные калибры для проверки зазора между поверхностями (рис. 4.15). Щупы представляют собой пластины с параллельными измерительными плоскостями. В соответствии с ТУ 2-034-0221197-91 щупы изготавливаются длиной 100 и 200 мм.

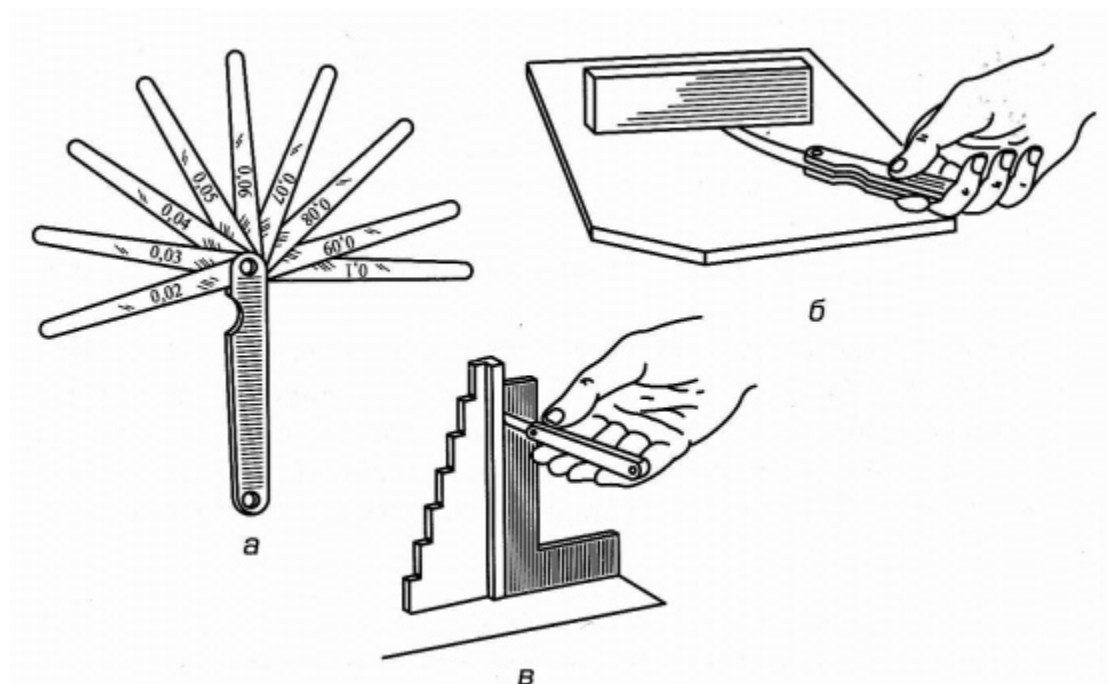


Рисунок 4.15. Калибры-щупы (а) и контроль с помощью щупов (б, в)

Щупы длиной 100 мм могут изготавливаться отдельными пластинами и наборами (четырёх номеров), включающими следующие номинальные размеры пластин:

- набор № 1 (9 щупов) – с толщиной от 0,02 до 0,1 мм с градацией через 0,01 мм;
- набор № 2 (17 щупов) – с толщиной от 0,02 до 0,5 мм;
- набор № 3 (10 щупов) – с толщиной от 0,055 до 1 мм с градацией через 0,05 мм;
- набор № 4 (10 щупов) – с толщиной от 0,1 до 1 мм с градацией через 0,1 мм.

При применении щупов либо используется один из них, либо складываются два и более щупа для набора требуемой толщины.

Допускаемые отклонения толщины новых щупов колеблются от 5 до 15 мкм в зависимости от их номинальной толщины. При применении набора щупов погрешность контроля увеличивается.

4.7. Выбор измерительных средств в зависимости от точности измерений

Правильный выбор измерительных средств с учетом допускаемых погрешностей измерений размеров до 500 мм регламентирует ГОСТ 8.051-81. Стандарт предусматривает значения допускаемых погрешностей измерений в зависимости от допусков на обработку. Значения допускаемых погрешностей измерений приведены в таблице 4.1.

Пределы допускаемых погрешностей измерений установлены из расчета (в среднем) от 20 до 35 % значения допуска (с учетом квалитетов).

Погрешность измерительного средства должна быть меньше допускаемой погрешности измерения. Предельные погрешности различных СИ приведены в таблицах 4.2 и 4.3.

Пример. Выбрать средство для измерения в условиях серийного производства диаметра элемента вала $d\ 50\ h11$.

По таблице 4.1 находим допуск размера вала $T = 160\ \text{мкм}$ и допускаемую погрешность измерения $\delta = 40\ \text{мкм}$.

По таблице 4.2 подбираем средство измерений наружных размеров. Здесь указаны предельные погрешности измерения различными средствами. Подбираем по этой таблице средство, имеющее диапазон измерения, включающий в себя номинальный диаметр 50 мм, и имеющее предельную погрешность измерения, близкую к 40 мкм, т. е. к допускаемой погрешности измерения рассматриваемой ступени вала. Лучше всех этим требованиям удовлетворяет скоба индикаторная с диапазоном измерения 0–50 мм, ценой деления 0,01 мм и предельной погрешностью измерения 15 мкм. Эта скоба подходит и по производительности измерения для условий серийного производства.

Таблица 4.1. Допускаемые погрешности измерений (δ) в зависимости от допусков размеров

Номиналь- ные разме- ры, мм	Квалитеты																			
	5		6		7		8		9		10		11		12		13		14	
	T	δ	T	δ	T	δ	T	δ	T	δ	T	δ	T	δ	T	δ	T	δ	T	δ
	мкм																			
До 3	4	1,4	6	1,8	10	3	14	3	25	6	40	8	60	12	100	20	140	30	250	50
Св. 3 до 6	5	1,6	8	2,0	12	3	18	4	30	8	48	10	75	16	120	30	180	40	300	60
« 6 « 10	6	2,0	9	2,0	15	4	22	5	36	9	58	12	90	18	150	30	220	50	360	80
« 10 « 18	8	2,8	11	3	18	5	27	7	43	10	70	14	110	30	180	40	270	60	430	90
« 18 « 30	9	3	13	4	21	6	33	8	52	12	84	18	130	30	210	50	330	70	520	120
« 30 « 50	11	4	16	5	25	7	39	10	62	16	100	20	160	40	250	50	390	80	620	140
« 50 « 80	13	4	19	5	30	9	46	12	74	18	120	30	190	40	300	60	460	100	740	160
« 80 « 120	15	5	22	6	35	10	54	12	87	20	140	30	220	50	350	70	540	120	870	180
« 120 « 180	18	6	25	7	40	12	63	16	100	30	160	40	250	50	400	80	630	140	1000	200
« 180 « 250	20	7	29	8	46	12	72	18	115	30	185	40	290	60	460	100	720	160	1150	240
« 250 « 315	23	8	32	10	52	14	81	20	130	30	210	50	320	70	520	120	810	180	1300	260
« 315 « 400	25	9	36	10	57	16	89	24	140	40	230	50	360	80	570	120	890	180	1400	280
« 400 « 500	27	9	40	12	63	18	97	26	155	40	250	50	400	80	630	140	970	200	1550	320
$\delta / T, \%$	35		30		30		25		25		20		20		20		20		20	

Таблица 4.2. Предельные погрешности измерения, мкм, наружных размеров универсальными измерительными средствами

Средства измерений	Класс мер	Ход стержня, мм	Номинальный размер, мм									
			1..6	6... 10	10... 18	18... 50	50... 80	80... 120	120... 180	180... 260	260... 360	360... 500
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,1 мм	-	-	150	150	150	150	200	200	200	200	200	250
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,05 мм	-	-	100									
Скобы индикаторные с ценой деления 0,01 мм	5	3	15			20			40	50	60	
	3	0,1	10									
Микрометры гладкие с ценой деления 0,01 мм	-	По установочной мере	5				10	15	20	25	30	50
Микрометры рычажные с ценой деления 0,002 и 0,01 мм	-	То же	4			6	10	15	20	25	30	50
Скобы рычажные с ценой деления 0,002 и 0,005 мм	3	Вся шкала	4			5	10	20	25	-	-	-
	2	10 делений	2				3	5		-	-	-

Таблица 4.3. Предельные погрешности измерения, мкм, внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами

Средства измерений	Средства установки	Ход стержня, мм	Номинальный размер, мм				
			3...18	18...50	50...120	120...260	260...500
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,1 мм	-	-	200		250	300	300
Штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,05 мм	-	-	150		200	200	250
Нутромеры микрометрические с ценой деления 0,01 мм	Установочная мера	13	-		15	20	30
Нутромеры индикаторные с отсчетной головкой (цена деления 0,01 мм)	Концевые меры 4-го класса или гладкий микрометр	Весь расход	15	20	25	25	30
	То же	0,1	10	10	15	15	20
	Концевые меры 3-го класса или установочные кольца	0,03	5	5	10	10	-

ЗАДАНИЕ

Таблица 4.4. Выбрать измерительные средства для измерения размера детали

Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 4	Вариант № 5	Вариант № 6
Ø20h12	Ø100 h14	Ø86 h7	Ø35H7	Ø90H12	Ø140H14

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется ценой деления шкалы измерительного прибора?
2. Для чего у микроскопических инструментов имеется трещеточное устройство?
3. По каким причинам при измерениях возникают погрешности?
4. Каково назначение плоскопараллельных концевых мер длины?
5. Какой измерительный инструмент применяют для определения радиального и торцевого биения?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного учебного пособия был рассмотрен комплекс взаимосвязанных вопросов, составляющих основу инженерной подготовки в области проектирования, производства и контроля изделий машиностроения. От точности изготовления отдельной детали до надежности работы сложного агрегата – все эти аспекты объединены единой системой нормирования геометрических параметров, базирующейся на государственных стандартах и международных рекомендациях ИСО.

В первой части пособия была изложена теория допусков и посадок на гладкие цилиндрические и плоские поверхности, которая является фундаментом для обеспечения взаимозаменяемости. Освоение понятийного аппарата – номинальные и предельные размеры, верхние и нижние отклонения, допуск, качество, основное отклонение – позволяет специалисту перейти от абстрактных чертежных обозначений к конкретным технологическим требованиям.

Показано, что вся совокупность посадок (с зазором, с натягом и переходные) реализуется через две системы: систему отверстия и систему вала. При этом преимущественное применение системы отверстия обусловлено экономической целесообразностью, так как для обработки отверстий различных размеров требуется большее количество дорогостоящего режущего и мерительного инструмента, чем для обработки валов. Приведенные в пособии примеры расчета посадок и преобразования буквенно-цифровых обозначений в числовые значения дают студентам практический навык работы с нормативной документацией и формируют понимание того, как величина допуска влияет на себестоимость изготовления и эксплуатационные свойства соединения.

Второй ключевой блок материала посвящен допускам формы и взаимного расположения поверхностей. В реальных производственных условиях погрешности обработки неизбежно приводят к отклонениям от идеальной геометрии. Эти отклонения, на первый взгляд незначительные, могут оказывать решающее влияние на работоспособность механизмов. В подвижных соединениях они вызывают неравномерный износ и потерю плавности хода, в неподвижных – снижают прочность и герметичность.

В пособии систематизированы виды отклонений формы (непрямолинейность, неплоскостность, некруглость, отклонение профиля продольного сечения), расположения (непараллельность, несоосность, перекос, несимметричность, позиционные отклонения) и суммарных отклонений (торцевое и радиальное биение). Рассмотрены правила указания этих требований на чертежах, включая обозначение баз и нормируемых участков. Особую практическую ценность представляет разъяснение различий между зависимыми и независимыми допусками. Зависимые допуски, позволяющие использовать часть допуска размера для компенсации погрешностей расположения, являются экономически эффективным инструментом в массовом производстве, где важна собираемость без пригонки.

Третья часть пособия раскрывает понятие шероховатости поверхности как совокупности микронеровностей, неизбежно образующихся в процессе любой механической обработки. Показано, что механизм формирования шероховатости связан не только с геометрией режущего инструмента и режимами резания, но и с пластической деформацией обрабатываемого материала. Чем меньше пластическая деформация, тем меньше высота микронеровностей, а значит, выше качество поверхности.

В пособии подробно рассмотрены параметры количественной оценки шероховатости – среднее арифметическое отклонение профиля R_a и высота неровностей по десяти точкам R_z , а также приведена методика их назначения в зависимости от величины допуска на размер. Освоение правил обозначения шероховатости на чертежах позволяет конструктору и технологу однозначно определить требования к финишной обработке и обеспечить требуемые эксплуатационные свойства поверхности – износостойкость, коррозионную стойкость и контактную жесткость.

Четвертая часть завершает изложение материала переходом от теории к практике технического контроля.

Рассмотрены основные виды измерительных средств, применяемых в машиностроении:

- Плоскопараллельные концевые меры длины (КМД), которые служат эталонной базой для настройки измерительных приборов и контроля калибров.
- Штангенинструменты (штангенциркули, глубиномеры, рейсмасы), обеспечивающие универсальность и доступность измерений в цеховых условиях.
- Микрометрические инструменты (гладкие микрометры, нутромеры, глубиномеры), позволяющие проводить измерения с точностью до сотых долей миллиметра за счет винтовой пары.
- Индикаторные приборы относительного метода (нутромеры и скобы), используемые для точного контроля размеров в серийном производстве.
- Калибры – специальные бесшкальные контрольные инструменты, которые позволяют быстро и объективно оценить годность детали по принципу «проходная сторона проходит – непроходная не проходит».

В пособии подробно изложены виды калибров (пробки, скобы, резьбовые калибры, щупы), их конструкция и маркировка, а также методики проверки.

Важнейшим итоговым разделом является рассмотрение принципов выбора измерительных средств на основе соотношения между допуском на изготовление и допускаемой погрешностью измерения (ГОСТ 8.051-81). Правильный выбор измерительного средства – это не только вопрос точности, но и вопрос экономической целесообразности. Использование слишком грубого прибора приводит к ошибкам и браку, а неоправданно точного – к необоснованным затратам. Приведенные примеры подбора приборов для конкретных размеров и качеств дают студенту ясный алгоритм действий в реальной производственной ситуации.

Рассмотренные темы – допуски и посадки, отклонения формы и расположения, шероховатость, методы и средства измерений – образуют единую систему технического нормирования, которая обеспечивает следующие ключевые эффекты:

1. Взаимозаменяемость – возможность беспригоночной сборки деталей, изготовленных независимо друг от друга, что является условием массового и поточного производства.

2. Надежность и долговечность – обоснованное нормирование всех геометрических параметров позволяет создать такие условия сопряжения, при которых минимальны износ, вибрация и риск разрушения.

3. Технологичность – назначение обоснованных допусков (не завышенных и не заниженных), обеспечивает оптимальную трудоемкость обработки и минимальную себестоимость изделия.

4. Контролепригодность – выбор адекватных измерительных средств и методов контроля позволяет объективно оценить соответствие детали требованиям чертежа на всех этапах производства.

Материал пособия построен на действующей нормативно-технической документации (ГОСТ 25346-2013, ГОСТ 24643-81, ГОСТ 2789-73, ГОСТ 2.309-73, ГОСТ 8.051-81 и др.), что гарантирует его актуальность и практическую применимость. Большое количество расчетных примеров, наглядных схем и контрольных заданий делает пособие удобным инструментом как для аудиторной работы, так и для самостоятельного изучения.

Освоение содержания пособия позволяет:

- уверенно читать и составлять чертежи общего машиностроения;
- грамотно назначать посадки для различных эксплуатационных условий;
- рассчитывать предельные размеры и допуски;
- определять необходимую шероховатость поверхности исходя из функционального назначения детали;
- выбирать оптимальные методы и средства контроля размеров;
- понимать логику и правила технического контроля на предприятиях машиностроения.

Все эти компетенции являются неотъемлемой частью профессиональной подготовки инженеров направления «Технологические машины и оборудование». Без их освоения невозможно успешное выполнение курсовых и дипломных проектов, а также дальнейшая практическая работа в области проектирования, технологии или технического контроля.

Таким образом, изложенный в пособии материал представляет собой завершённый, логически выстроенный и практически ориентированный курс, который служит надежной основой для дальнейшего углубленного изучения специальных дисциплин и успешной инженерной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анохин, В. И. Допуски и посадки. 5-е изд. / В. И. Анохин. – СПб.: Питер, 2012. – 256 с.: ил. ISBN 978-5-496-00042-0.
2. Багдасарова, Т. А. Допуски и технические измерения: контрольные материалы / Т. А. Багдасарова. – М.: Academia, 2018. – 432 с.
3. Зайцев, С. А. Технические измерения: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / С. А. Зайцев, А. Н. Толстов. – 3-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2019. – 368 с. ISBN 978-5-4468–8115-4.
4. Левицкий, В. С. Машиностроительное черчение: учебник для среднего профессионального образования / В. С. Левицкий. – 9-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство «Юрайт», 2020. – 359 с. - (Профессиональное образование) ISBN 978-5-534-11160-6.
5. Федоренко, В. А. Справочник по машиностроительному черчению / В. А. Федоренко, А. И. Шошин. – М.: ЛТД, 2007.

Учебное издание

**Марков Александр Николаевич
Марков Виктор Александрович
Соколова Виктория Александровна
Беленький Юрий Иванович**

**Метрология, стандартизация
и сертификация
Допуски, посадки и технические измерения**

Учебное пособие

Редактор и корректор М. Д. Баранова
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2026 г., поз. 5287

Подписано к печати 13.07.2026.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ.л. 3,4.	Уч.-изд. л. 3,4.
Тираж 30 экз.	Изд. № 71.	Цена «С».
		Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.