

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. И. Сурус, А. В. Блохин

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

**Конспект лекций по одноименному курсу
для студентов специальностей
1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса»,
1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов»
очной и заочной форм обучения**

Минск 2018

УДК 621.713:006(042.4)(075.8)

ББК 34.41я73

С90

Рассмотрен и рекомендован к изданию редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета

Рецензенты:

доцент кафедры стандартизации и метрологии УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

кандидат технических наук, доцент *А. В. Кудина*;

доцент кафедры стандартизации, метрологии и информационных систем Белорусского национального технического университета

кандидат технических наук, доцент *В. Г. Лысенко*

Сурус, А. И.

С90 Нормирование точности и технические измерения : конспект лекций по одноименному курсу для студентов специальностей, 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» очной и заочной форм обучения / А. И. Сурус, А. В. Блохин. – Минск : БГТУ, 2018. – 134 с.

В конспекте лекций освещаются основные темы, предусмотренные учебной программой при изучении дисциплины «Нормирование точности и технические измерения» студентами очной и заочной форм обучения специальностей 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов».

Материалы конспекта лекций могут быть использованы студентами других специальностей, изучающими аналогичные дисциплины.

УДК 621.713:006(042.4)(075.8)

ББК 34.41я73

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2018

© Сурус А. И., Блохин А. В., 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Потребность в развитии промышленности, повышении эффективности производства и всестороннем улучшении качества выпускаемой продукции неразрывно связана с необходимостью практического применения достижений науки и техники, ростом уровня развития машиностроения, автоматизацией производства и сопровождается развитием и совершенствованием систем контроля и управления технологическими процессами.

Современное машиностроительное производство при серийном и массовом выпуске изделий может быть высокопроизводительным и обеспечивать требуемое качество только на основе взаимозаменяемости деталей и их стандартизации.

В основе обеспечения взаимозаменяемости лежит нормирование точности различных параметров на принципах стандартизации с последующим контролем, что и служит базой дисциплины «Нормирование точности и технические измерения», освоение которой является обязательной частью профессиональной подготовки специалистов в учреждениях высшего образования.

Изучение теоретических основ названной дисциплины позволит сформировать понимание закономерностей построения системы основных норм взаимозаменяемости типовых деталей и их соединений, усвоить основы выбора норм точности геометрических параметров при конструировании изделий исходя из предъявляемых к ним эксплуатационных требований; сформировать знания и привить навыки выбора методов и средств измерений для контроля отклонений геометрических параметров изделий.

Материалы конспекта лекций могут быть использованы для студентов других специальностей, изучающих аналогичные дисциплины.

1. ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КАЧЕСТВЕ, ТОЧНОСТИ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ

ЛЕКЦИЯ 1

Краткая характеристика особенности развития современного машиностроения. Проблема повышения качества изделий машиностроения. Понятие о точности. Точность как один из показателей качества. Роль изучаемой дисциплины в повышении качества продукции. Понятие о взаимозаменяемости в машиностроении и ее виды. Роль и оценка уровня взаимозаменяемости.

1.1. Краткая характеристика особенности развития современного машиностроения.

Проблема повышения качества изделий машиностроения

Успешное развитие экономики любой страны на современном этапе теснейшим образом связано с развитием науки и техники, уровнем научных и инженерных разработок, а также эффективностью их использования.

В современном производстве работа машин и механизмов связана с достаточно сложными условиями (требованиями к высокой производительности с высоким к. п. д., отсюда, в зависимости от назначения и специфики эксплуатации – высокие скорости, мощности, температуры, давление, вибрации и т. д.). Все это предъявляет к машинам и механизмам повышенные требования к их надежности при минимальной стоимости, экологичности, эстетичности и т. д. и приводит во многих случаях к усложнению изделия.

Кроме того, научно-технический прогресс характеризуется быстрым моральным старением техники, что требует ее систематического обновления, приспособленности к реализации инновационных технологий. При всем этом большинство продукции выпускается в массовом масштабе.

Стоящие в связи с этим перед машиностроительной промышленностью задачи могут быть успешно решены в результате проведения ряда мероприятий, одними из которых являются:

- использование наиболее рациональных схем механизмов и создание наиболее оптимальных их конструкций, замена механических связей более прогрессивными;
- использование новых материалов;
- широкое применение унификации, взаимозаменяемости и т. д.

В этих условиях необходимо особое внимание уделять **качеству выпускаемой продукции** как одному из важнейших показателей современного развития любой страны мира. В современных условиях мировой рынок выдвигает жесткие требования к качеству поступающей на него продукции. Повышение качества машиностроительной продукции приносит значительный экономический эффект благодаря оснащению новой техникой всех отраслей народного хозяйства, способствует удовлетворению потребностей населения и конкурентоспособности продукции на мировом рынке и успешному развитию экономики.

Решение этой проблемы определяется рядом технических, организационных, экономических и социальных факторов.

Термин «качество продукции» имеет несколько различных определений.

Например, в соответствии с ГОСТ 75467, – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Каждое изделие характеризуется совокупностью выходных параметров – величинами, определяющими показатели качества данного изделия, а их предельные значения контролируются и регламентируются нормативной документацией (НД).

Таким образом, оценка качества предполагает определение характеристик изделия исходя из его конкретных показателей.

Показатель качества продукции – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, определяющих ее качество, рассматриваемая к определенным условиям ее создания и эксплуатации, а также ее потребления.

В соответствии с ГОСТ 22851 и РД 50149 показатели качества продукции можно разделить на три группы.

1. По характеризующим свойствам: показатели назначения (мощность, производительность, скорость и т. д.); показатели экономичности (экономичного использования сырья, материалов, топлива и энергии); показатели эргономичности; эстетичности; надежности; технологичности; транспортабельности; стандартизации и унификации; патентно-правовые; экологические; безопасности.

2. По способу выражения информации: абсолютные и относительные. Абсолютные выражаются в натуральных единицах (метры, килограммы, баллы, стоимостные и др.). Относительные показатели могут быть выражены в процентах или других относительных единицах.

3. По количеству характеризующих свойств: единичные и комплексные. Единичный показатель характеризует одно из ее свойств, комплексный – несколько ее свойств.

Под **качеством машины** понимают совокупность ее свойств, определяющих соответствие ее служебному назначению.

При освоении новых машин и модернизации ранее освоенных, при планировании их качества, аттестации и во многих других случаях необходимо пользоваться показателями качества машин.

Показатель качества машины – это количественное выражение одного или нескольких ее свойств применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации.

К основным показателям качества машины относятся: стабильность выполнения машиной ее служебного назначения (функций), долговечность, производительность, безопасность работы, удобство и простота обслуживания и управления, уровень шума, к. п. д., степень механизации и автоматизации и т. д.

Каждый из перечисленных основных показателей применительно к тому или иному типу машины конкретизируется в виде системы дополнительных качественных и количественных показателей, характеризующих особенности, которыми должны обладать машины данного типа, предназначенные для выполнения необходимого служебного положения.

Разработка качественных и количественных показателей является одной из наиболее ответственных задач, так как от ее правильного решения зависят качество и экономичность выполнения машиной служебного назначения, быстрота освоения и экономичность изготовления.

Показателем качества машин, достижение которого вызывает наибольшие трудности и затраты в процессе проектирования и изготовления, является точность машин, которая во многом определяется точностью ее деталей.

Оценка качества – сфера действия квалиметрии – науки, основанной на совокупности методов и средств количественной оценки качества. Квалиметрия неразрывно связана со стандартизацией и метрологией.

Важная роль в оценке качества принадлежит метрологии – науке об измерениях (теория, единицы, эталоны, образцовые средства измерений).

Оценка качества может проводиться **объективными методами**:

– измерительный (выявление численных показателей качества). Главное достоинство метода – точность;

– регистрационный. Он базируется на наблюдениях и последующем подсчете тех или иных событий (например, количество некорректных срабатываний при запуске механизмов, входящих в состав изделия);

– расчетный метод может быть использован для моделирования качества готового товара в момент его проектирования (исходными данными могут быть расчетные характеристики отдельных деталей механизма)

и эвристическими методами:

- органолептический (с помощью органов чувств);
- экспертный (с участием экспертов).

Продукция обладает высоким качеством, если она соответствует требованиям стандартов (нормативных документов). Соответствие стандартам подтверждается сертификацией.

Показатели качества могут характеризовать самые разнообразные свойства изделия в зависимости от его назначения и предъявляемых к нему требований. Среди них важное значение отводится взаимозаменяемости и соответствующим ей свойствам: точности, надежности и стабильности.

Следует отметить, что даже удачно сконструированные и рассчитанные элементы и детали машин или механизмов еще не говорят об их работоспособности и качестве. Для этого необходима взаимная увязка вопросов точности, собираемости на стадиях проектирования и изготовления, одновременно обеспечивающая взаимозаменяемость отдельных деталей и узлов.

1.2. Понятие о точности.

Точность как один из показателей качества.

Роль изучаемой дисциплины в повышении качества продукции

Под понятием «точность» в общем случае следует понимать степень соответствия определенных характеристик рассматриваемого объекта требуемым (номинальным).

Под **точностью детали** или **машин** понимают степень ее соответствия (приближения) к геометрически правильному ее прототипу.

Изготовить любую деталь абсолютно точно, т. е. в полном соответствии с ее геометрическим представлением, практически невозможно, поэтому за меру точности принимают величины отклонений измеренных ее параметров от теоретических значений. Эти отклонения после их измерения сопоставляют с отклонениями, допускаемыми служебным назначением детали в машине. Следовательно, на все показатели качества детали, характеризующие ее служебное назначение, необходимо устанавливать допустимые отклонения или допуски.

Таким образом, мерами точности служат, с одной стороны, устанавливаемые допустимые отклонения, а с другой – измеренные, т. е. установленные с известной степенью приближения действительные отклонения параметров реальной детали.

Наряду с точностью размеров важным показателем качества детали является **точность геометрических форм поверхностей и расположения отдельных ее элементов** по отношению к другим.

Точность геометрических форм поверхностей детали, или правильность геометрических форм, – наибольшее приближение каждой из поверхностей детали к ее геометрическому представлению.

Различают три вида отклонений поверхностей деталей от правильных геометрических форм:

– **макрогеометрические отклонения** – отклонения реальной поверхности от правильной геометрической формы в пределах габаритных размеров этой поверхности. Например, отклонение плоской поверхности от плоскостности, поверхности цилиндра, конуса, шара от их правильных (номинальных) геометрических представлений;

– **волнистость**, представляющая собой периодические неровности поверхности, встречающиеся на участках протяженностью до 10 мм;

– **микрogeометрические отклонения** (микронеровности), под которыми понимают отклонения реальной поверхности в пределах небольших ее участков. Такие неровности называют шероховатостью поверхности.

Рассмотренные показатели, характеризующие точность детали, целиком используются и для характеристики точности машины. Различие заключается в том, что у детали все показатели точности относятся к поверхностям одной конкретной детали, а у машины они относятся к исполнительным поверхностям, принадлежащим различным, связанным одна с другой деталям машины.

Поскольку исполнительные поверхности машины, в ряде случаев, должны осуществлять относительное движение, необходимое для выполнения машиной ее служебного назначения, то одним из основных показателей, характеризующих точность машины, является **точность относительного движения** исполнительных поверхностей.

Под **точностью относительного** движения понимается максимальное приближение действительного характера движения исполнительных поверхностей к теоретическому закону движения, выбранному исходя из служебного назначения машины.

На основании вышеизложенного точность машины характеризуется следующими основными показателями:

– **точностью относительного движения** исполнительных поверхностей машины;

– **точностью расстояний** между исполнительными поверхностями или заменяющими их сочетаниями поверхностей и их размеров;

– **точностью исполнительных поворотов** исполнительных поверхностей;

– **точностью геометрических форм** исполнительных поверхностей;

– **шероховатостью** исполнительных поверхностей.

Кроме основных показательной качества машин и их деталей, имеется и ряд других (структурное состояние и физико-механические свойства материалов, характер и знаки остаточных напряжений и др.).

Под **точностью изготовления** в машиностроении понимают степень соответствия реальной детали (сборочной единицы или изделия) проектной, заданной конструктором посредством чертежа и технических требований.

В этом случае первичными являются размеры, т. е. числовые значения линейных параметров (диаметров, длин и т. д.) в принятых единицах измерения. Вторичными (производными) – параметры, характеризующие форму поверхностей, взаимное расположение отдельных элементов детали или деталей в узле и т. д.

В процессе обучения нужно научиться управлять точностью, уметь ее проектировать и контролировать.

В решении поставленных задач большое значение имеют вопросы взаимозаменяемости, стандартизации и технических измерений, составляющие основу одноименного курса, освоение которого является обязательной частью профессиональной подготовки инженеров-механиков.

Курс является логическим завершением цикла общетехнических дисциплин («Материаловедение», «Теория машин и механизмов», «Механика материалов», «Детали машин»), которые рассматривают теоретические основы проектирования машин и механизмов, расчеты их на прочность, жесткость и т. д., исходя из критериев работоспособности.

Изучение основных положений данной дисциплины направлено на обеспечение работоспособности спроектированного изделия с наименьшей себестоимостью с точки зрения обеспечения функциональных параметров, зависящих в ряде случаев от точности размеров, формы и других геометрических параметров деталей и их сопряжений.

1.3. Понятие о взаимозаменяемости в машиностроении и ее виды. Роль и оценка уровня взаимозаменяемости

Взаимозаменяемость любого изделия – это его свойство равноценно (с допустимой погрешностью) заменять при использовании любой из множества экземпляров изделий, их частей или иной продукции другим однотипным экземпляром.

Под **взаимозаменяемостью в машиностроении** понимают свойство независимо изготовленных с заданной точностью деталей и составных частей изделий обеспечивать возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте) сопрягаемых деталей в составные

части, а составных частей в изделие при соблюдении предъявляемых к составным частям и изделиям технических требований.

Взаимозаменяемость в машиностроении – важнейшее свойство совокупности изделий. Она в значительной степени определяет технико-экономический эффект, получаемый при изготовлении и эксплуатации современных технических устройств. Такая роль взаимозаменяемости обусловлена тем, что она связывает в единое целое конструирование, технологию производства, контроль и эксплуатацию изделий в любой отрасли промышленности. Она рассматривает требования к точности деталей, характеру и точности их соединений на основе эксплуатационного назначения, методы обеспечения этой точности, предпосылки систем допусков и посадок, построение и применение этих систем в комплексе с техническими измерениями.

Непрерывность процесса обеспечения взаимозаменяемости от изделия в целом до отдельной детали проявляется в зависимости значений каждого выходного показателя качества сложного (составного) изделия от выходных показателей качества составных частей этого изделия.

Первоначально выполнение более точного соединения и перемещения деталей осуществлялось за счет более точной пригонки деталей при сборке изделий.

Однако пригоночные работы имеют ряд недостатков: требуют высокой квалификации сборщиков; удлинняют и удорожают производство; затрудняют организацию массового производства, кооперирования и специализации; усложняют ремонт, так как не дают возможности заранее изготавливать запасные части.

Это обстоятельство послужило поводом к изготовлению деталей с такой точностью, чтобы они могли заменять друг друга (независимо от изготовителя, условий, места и времени изготовления), т. е. были бы взаимозаменяемыми.

Современный производственный процесс немислим без принципа взаимозаменяемости. На заводах детали изготавливают в одних цехах, собирают в изделие в других. Кроме того, при сборке используют детали, изготовленные на других предприятиях. Несмотря на это, сборка должна производиться без дополнительной обработки.

Первоначально взаимозаменяемость рассматривалась в основном как принцип собираемости деталей и обеспечивалась изготовлением их в заданных допусках на геометрические параметры. Это *геометрическая взаимозаменяемость (размерная взаимозаменяемость)*, связанная с обеспечением точности размеров, формы, расположения отдельных геометрических элементов детали по отношению к другим элементам, шероховатости поверхностей.

В настоящее время кроме геометрической различают следующие виды взаимозаменяемости: функциональная, внешняя, внутренняя, полная и неполная (ограниченная).

Взаимозаменяемость, при которой обеспечивается не только принцип собираемости, но и взаимозаменяемость по различным параметрам для обеспечения оптимальных эксплуатационных показателей изделий (по функциональным параметрам), называется **функциональной взаимозаменяемостью**.

Таким образом, **размерная взаимозаменяемость** является составляющей функциональной взаимозаменяемости. Она предусматривает необходимую точность выполнения линейных и угловых размеров, а также допустимые погрешности при воспроизведении формы и расположении поверхностей деталей.

Под **внешней взаимозаменяемостью** понимают взаимозаменяемость готовых главным образом комплектующих изделий (агрегаты, подшипники качения и т. д.), от которых требуется взаимозаменяемость по эксплуатационным показателям и одновременно по геометрическим параметрам присоединительных поверхностей.

Взаимозаменяемость отдельных деталей, сборочных единиц и механизмов внутри каждого изделия относится к **внутренней взаимозаменяемости** (например, взаимозаменяемость колец, сепараторов и ограниченная взаимозаменяемость тел качения в подшипниках качения).

Полная взаимозаменяемость подразумевает взаимозаменяемость изделий по всем параметрам одновременно, а **неполная (ограниченная)** – по части параметров (по отдельным параметрам).

Понятия полной и неполной (ограниченной) взаимозаменяемости могут быть распространены на все вышеперечисленные виды взаимозаменяемости одновременно или на отдельные из них (например, полная геометрическая и при этом неполная функциональная).

Уровень взаимозаменяемости оценивается коэффициентом взаимозаменяемости

$$K_{\text{в}} = N_{\text{в}} / N,$$

где $N_{\text{в}}$ – количество взаимозаменяемых деталей в изделии; N – общее количество деталей в изделии. При проектировании изделий следует, чтобы $K_{\text{в}}$ стремился к единице.

С позиции системного подхода обеспечение взаимозаменяемости распространяется на все стадии жизненного цикла и базируется на следующем:

– формирование взаимозаменяемости при проектировании, превращенное в метод конструирования и нормирование точности различных параметров;

– обеспечение взаимозаменяемости на стадии изготовления, выражающееся в гарантии производства изделий в заданных пределах в полном соответствии с требованиями стандартов при условии необходимого метрологического обеспечения и всех необходимых видов контроля;

– организация правильной эксплуатации изделий, глубокое изучение их качества при использовании и проведении профилактических мероприятий по максимальному сохранению их свойств.

На всех стадиях жизненного цикла обеспечению взаимозаменяемости способствует применение методов стандартизации.

Обеспечение взаимозаменяемости относят к составной части системы управления качеством изделий в машиностроении.

Основополагающим в обеспечении взаимозаменяемости является формирование **взаимозаменяемости при проектировании**, в том числе за счет установления необходимых норм точности соответствующих параметров. При проектировании и изготовлении сложных (составных) изделий в массовом масштабе первостепенное значение приобретает геометрическая взаимозаменяемость отдельных составных частей, составляющих эти изделия (машины, механизмы и т. п.), позволяющая в первую очередь обеспечить собираемость сложных изделий из партий однотипных взаимозаменяемых составных частей (деталей, сборочных единиц) и впоследствии влияющая на функциональную взаимозаменяемость.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРАХ И СОЕДИНЕНИЯХ

ЛЕКЦИЯ 2

Разновидности размерных параметров отдельных деталей: номинальный, действительный, предельный размеры, допуск и предельные отклонения размера. Правила нанесения предельных отклонений размеров на чертежах деталей. Графическое изображение полей допусков. Сопрягаемые поверхности и сопрягаемые размеры. Охватываемые и охватываемые поверхности. Понятие о посадках и определяющих их зазорах и натягах. Группы посадок и их характеристики.

2.1. Разновидности размерных параметров отдельных деталей: номинальный, действительный, предельный размеры, допуск и предельные отклонения размера

Размер – числовое значение линейной величины в выбранных единицах измерения. Размеры диаметров обозначают буквами D и d (прописными – для отверстий, строчными – для валов). Другие линейные размеры (длину, ширину и т. д.) обозначают прописными или строчными буквами латинского алфавита (кроме d и D).

Номинальный размер – размер, полученный в результате проектирования на основании расчетов или принятый по другим соображениям, округленный до стандартного и обозначенный на чертеже. Номинальный размер служит началом отсчета предельных отклонений, относительно его определяются предельные размеры. Обозначается: D_n – для отверстий, d_n – для валов (рис. 2.1).

Действительный размер – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью. Обозначается: D_d – для отверстий, d_d – для валов (рис. 2.1).

Предельные размеры – два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали (рис. 2.1).

Наибольший предельный размер – больший из двух предельных размеров. Обозначается: D_{\max} – для отверстий, d_{\max} – для валов (рис. 2.1).

Наименьший предельный размер – меньший из двух предельных размеров. Обозначается: D_{\min} – для отверстий, d_{\min} – для валов (рис. 2.1).

Ограничивать погрешности изготовления деталей путем указания на чертежах предельных размеров крайне неудобно, поэтому было принято указывать номинальный размер с предельными отклонениями.

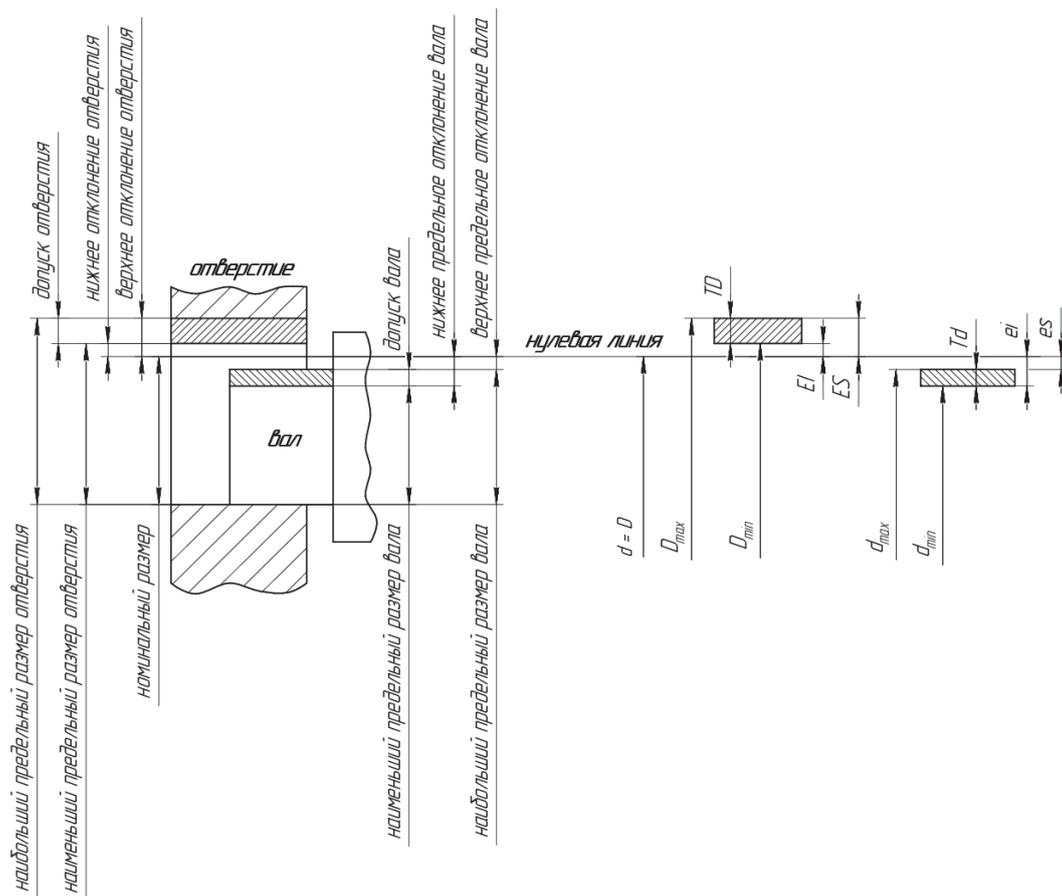


Рис. 2.1. Основные размерные параметры и схема расположения полей допусков

Отклонение размера – алгебраическая разность между соответствующим размером (действительным, предельным и т. д.) и номинальным.

Действительное отклонение – алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

Предельное отклонение – алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами.

Верхнее отклонение – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами. Обозначается: ES – для отверстий, es – для валов (рис. 2.1).

Нижнее отклонение – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами. Обозначается: EI – для отверстий, ei – для валов (рис. 2.1).

Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. Нулевая линия располагается, как правило, горизонтально, положительные отклонения откладываются вверх, а отрицательные – вниз.

Допуск размера – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями.

Допуск – положительная величина (допуск равен нулю быть не может), а предельные отклонения могут быть положительными, отрицательными и одно из них – нулевым. Допуск характеризует требуемую точность изготовления детали. Допуск в общем виде обозначают буквами IT , а для отверстий и валов – TD и Td соответственно (рис. 2.1).

Поле допуска – графическое представление области годных размеров, ограниченной предельными размерами (предельными размерами). Понятие более широкое, чем допуск, поскольку характеризует как величину допуска, так и его расположение относительно нулевой линии.

Соотношения для определения размерных параметров. Между размерными параметрами, рассмотренными выше, существуют математические зависимости. Так, из определений для предельных отклонений их значения можно рассчитать по следующим соотношениям:

$$ES = D_{\max} - D_H \quad (es = d_{\max} - d_H); \quad (2.1)$$

$$EI = D_{\min} - D_H \quad (ei = d_{\min} - d_H). \quad (2.2)$$

Действительные отклонения для отверстия и вала можно определить по следующим зависимостям:

$$E_d = D_d - D_H \quad (e_d = d_d - d_H). \quad (2.3)$$

Допуски размера отверстия и вала, согласно определению, находятся по следующим формулам:

$$TD = D_{\max} - D_{\min}, \quad (Td = d_{\max} - d_{\min}). \quad (2.4)$$

Допуск размера можно определить также через предельные отклонения:

$$TD = ES - EI \quad (Td = es - ei). \quad (2.5)$$

По известным значениям номинального размера и отклонений можно рассчитать соответствующий предельный размер отверстия или вала:

$$D_{\max} = D_H + ES \quad (d_{\max} = d_H + es); \quad (2.6)$$

$$D_{\min} = D_H + EI \quad (d_{\min} = d_H + ei). \quad (2.7)$$

По известным значениям предельных размеров можно определить средний размер отверстия или вала:

$$D_m = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} \quad (d_m = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}). \quad (2.8)$$

Средние отклонения отверстия или вала рассчитываются по следующим зависимостям:

$$E_m = \frac{ES + EI}{2} \quad (e_m = \frac{es + ei}{2}). \quad (2.9)$$

2.2. Правила нанесения предельных отклонений размеров на чертежах деталей.

Графическое изображение полей допусков.

Чертеж детали должен содержать все необходимые для ее изготовления и контроля размеры и предельные отклонения.

Размеры и отклонения на чертежах указываются в миллиметрах (предельные отклонения в таблицах стандартов приводятся в микрометрах). Предельные отклонения указывают после номинального размера цифрами примерно в два раза меньше, чем шрифт, которым записан номинальный размер. Верхнее отклонение со своим знаком (плюс или минус) располагается вверху, а нижнее – внизу (рис. 2.2, а).

При симметричном расположении поля допуска относительно номинального размера (в случае, когда оба отклонения одинаковы по величине, но с разными знаками) абсолютная величина отклонения указывается один раз со знаком \pm (рис. 2.2, б).

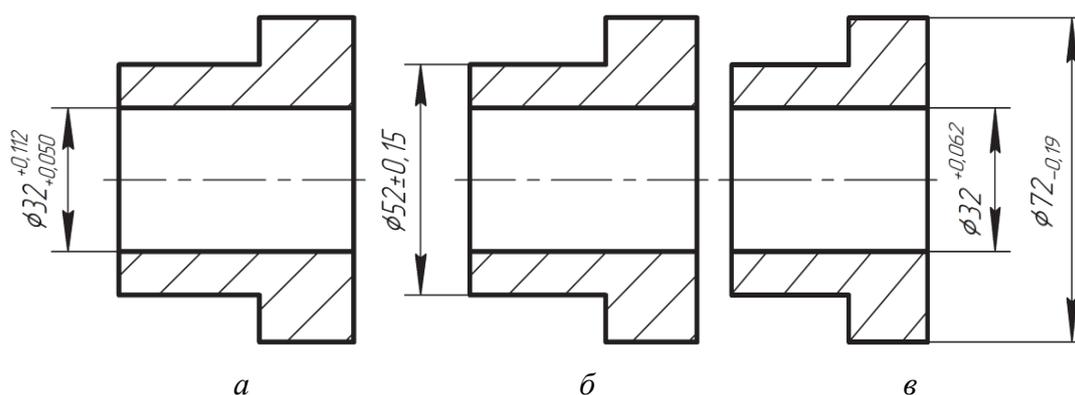


Рис. 2.2. Примеры обозначения размеров и предельных отклонений на чертежах

В случае, когда одно из отклонений равно нулю, оно не указывается, но место для него оставляется (рис. 2.2, в).

Количество цифр в отклонениях при одном и том же номинальном размере должно быть одинаковым.

2.3. Сопрягаемые поверхности и сопрягаемые размеры. Охватываемые и охватывающие поверхности. Классификация видов сопряжений

Большинство деталей машин, механизмов и элементов конструкций ограничены поверхностями простейших форм: плоскими, цилиндрическими и т. д. Простейшие геометрические тела, ограниченные поверхностями от окружающей среды, называются *элементами детали*.

Две детали, элементы которых входят друг в друга, образуют *соединение*, а детали называются *сопрягаемыми деталями*. Поверхности элементов, находящихся в соединении, называются *сопрягаемыми поверхностями*, а поверхности, которые не входят в соединение с поверхностями других деталей, называются *несопрягаемыми поверхностями*.

Сопряжения можно классифицировать по ряду признаков.

1. По форме сопрягаемых поверхностей: гладкие цилиндрические, гладкие конические; резьбовые соединения, цилиндрические и конические; зубчатые сопряжения; шлицевые сопряжения; плоские или линейчатые сопряжения; сферическое сопряжение.

2. По виду контакта в сопряжении: с поверхностным контактом; с линейным контактом; с точечным контактом.

3. По степени свободы взаимного перемещения: подвижные; неподвижные разъемные; неподвижные неразъемные.

Для сопрягаемых поверхностей используют термины «вал» и «отверстие».

Под термином «вал» понимают любую охватываемую поверхность детали, а под термином «отверстие» – любую охватывающую поверхность детали, независимо от ее геометрической формы (рис. 2.1).

2.4. Понятие о посадках и определяющих их зазорах и натягах. Группы посадок и их характеристики

Соединяемые детали, изготовленные с заданным допуском, могут соединяться между собой по-разному.

В одних случаях требуется их взаимное перемещение, в других – гарантированная неподвижность. Это достигается различными действительными размерами сопрягаемых поверхностей деталей при одинаковых номинальных размерах.

Посадка – характер соединения двух деталей, определяемый наличием зазора или натяга в соединении за счет разности их размеров до сборки.

Зазор – положительная разность между размерами отверстия и вала. Обозначается латинской буквой S .

Натяг – положительная разность между размерами вала и отверстия до сборки. Обозначается латинской буквой N .

Различают три группы посадок: посадки с зазором; посадки с натягом; переходные посадки.

Посадка с зазором – посадка, при которой всегда образуется гарантированный зазор в соединении, для этого наименьший предельный размер отверстия должен быть больше наибольшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (рис. 2.3).

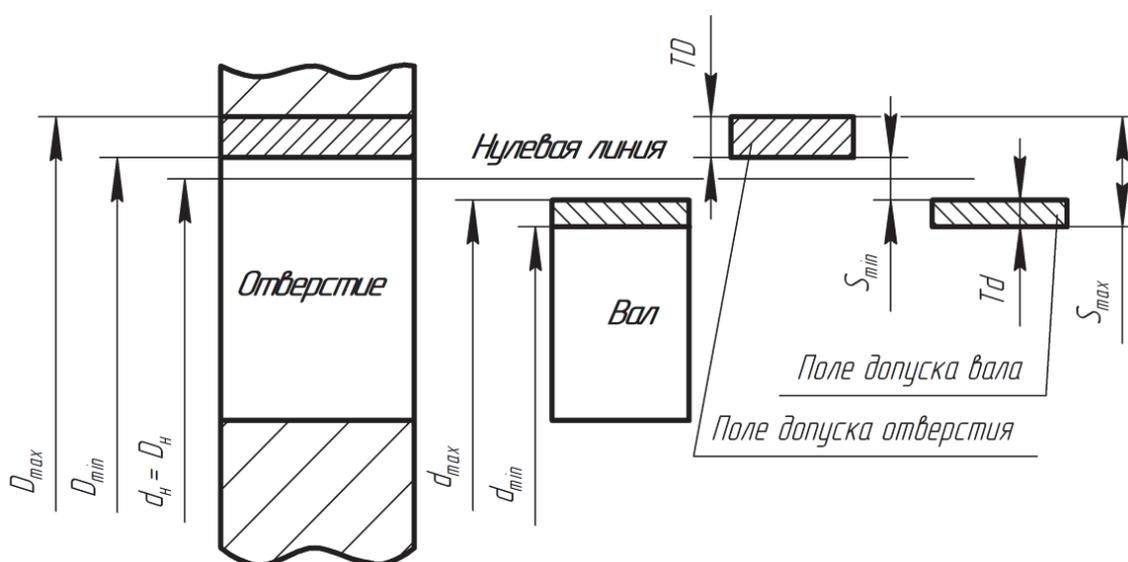


Рис. 2.3. Схема расположения полей допусков в посадке с зазором

Посадка с натягом – посадка, при которой всегда образуется гарантированный натяг в соединении, для этого наибольший предельный размер отверстия должен быть меньше наименьшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала (рис. 2.4).

Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении, в зависимости от величины действительных размеров отверстия и вала. При графическом изображении поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично (рис. 2.5).

Так как действительные размеры отверстия и вала могут колебаться от наименьшего до наибольшего значения, то и зазоры и натяги тоже могут изменяться в некоторых пределах – от $S_{min}(N_{min})$ до $S_{max}(N_{max})$.

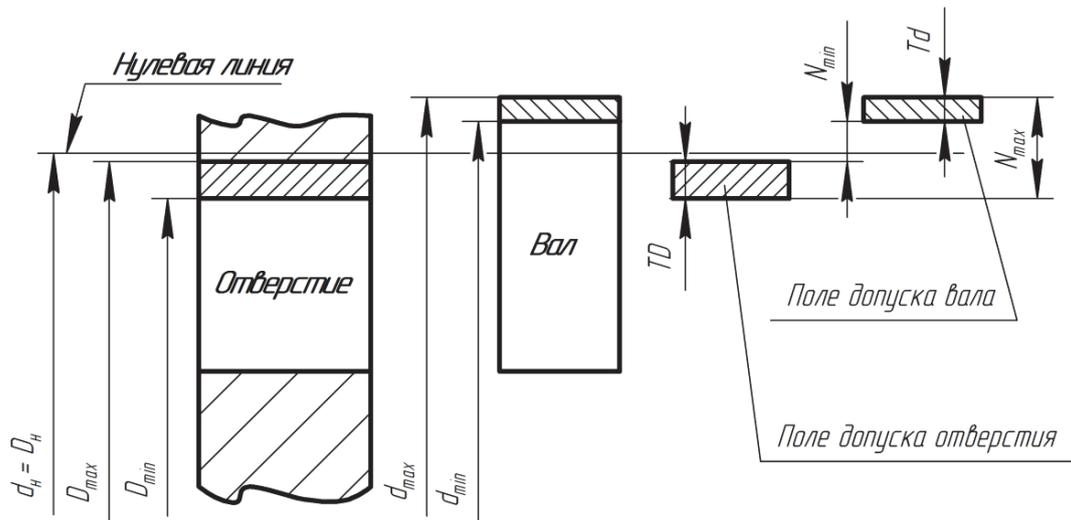


Рис. 2.4. Схема расположения полей допусков в посадке с натягом

Посадки с зазором характеризуются следующими размерными параметрами. Наибольший зазор:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (D_H + ES) - (d_h + ei) = ES - ei; \quad (2.10)$$

наименьший зазор:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (D_H + EI) - (d_h + es) = EI - es; \quad (2.11)$$

средний зазор:

$$S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}. \quad (2.12)$$

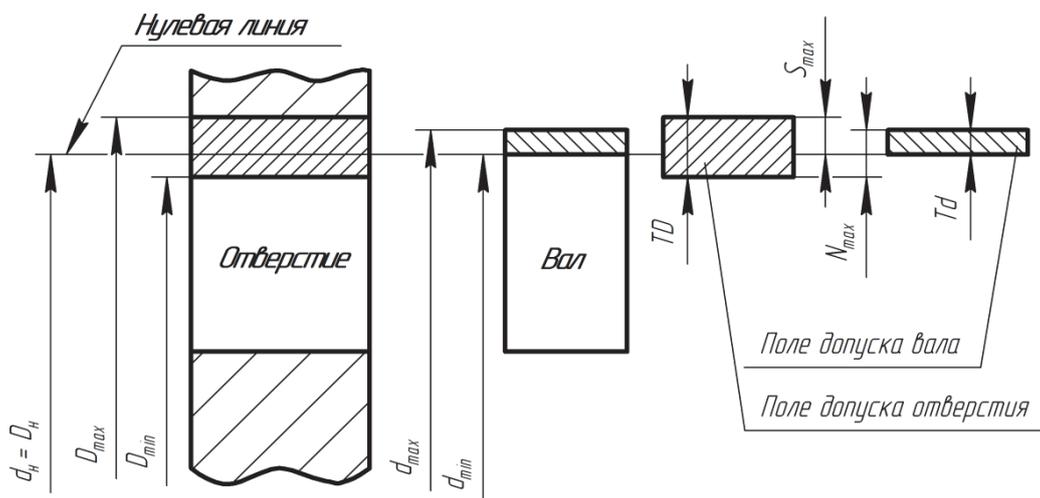


Рис. 2.5. Схема расположения полей допусков в переходной посадке

Посадки с натягом характеризуются следующими размерными параметрами. Наибольший натяг:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = (d_{\text{н}} + es) - (D_{\text{н}} + EI) = es - EI; \quad (2.13)$$

наименьший натяг:

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = (d_{\text{н}} + ei) - (D_{\text{н}} + ES) = ei - ES; \quad (2.14)$$

средний натяг:

$$N_m = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2}. \quad (2.15)$$

В зависимости от назначения и условий работы сопряжений требуются зазоры или натяги различной величины, поэтому возникает необходимость регламентировать допустимый диапазон колебания зазоров или натягов.

Допустимый диапазон колебаний зазоров или натягов устанавливается допусками посадок.

Допуск посадки – разность между наибольшим и наименьшим допускаемыми зазорами (натягами) или сумма допусков сопрягаемых размеров отверстия и вала, составляющих соединение.

Допуск посадки с зазором можно найти по следующей зависимости:

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = TD + Td. \quad (2.16)$$

Допуск посадки с натягом можно определить по формуле

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = TD + Td. \quad (2.17)$$

Допуск переходной посадки можно найти по следующей зависимости:

$$T\Pi = S_{\max} + N_{\max} = TD + Td. \quad (2.18)$$

3. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ. СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

ЛЕКЦИЯ 3

Единица допуска и квалитеты точности. Интервалы размеров. Система отверстия и вала.

3.1. Единица допуска и квалитеты точности. Интервалы размеров

Системой допусков и посадок (СДП) называется совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов.

Система предназначена для выбора минимально необходимых, но достаточных для практики вариантов допусков и посадок типовых соединений деталей машин, дает возможность стандартизировать режущие инструменты и калибры, облегчает конструирование, производство и взаимозаменяемость изделий, а также обуславливает повышение их качества.

Основные нормы взаимозаменяемости единой системы допусков и посадок (ЕСДП) базируются на стандартах и рекомендациях ИСО, которые распространяются на допуски размеров гладких элементов деталей и на посадки, образуемые при соединении деталей.

Системы допусков и посадок ИСО и ЕСДП для типовых деталей машин построены по единым принципам и распространяются на размеры до 20 000 мм. Эта область размеров разбита на четыре диапазона: до 1 мм; от 1 мм до 500 мм (наиболее распространенный); от 500 мм до 3150 мм; от 3150 мм до 10 000 мм.

Для удовлетворения потребностей различных отраслей промышленности в ЕСДП предусмотрено 20 квалитетов точности, которые обозначаются 01, 0, 1, 2, ..., 17, 18. **Квалитет** – совокупность допусков, соответствующих одинаковой относительной точности для разных номинальных размеров. Квалитеты 01, 0, 1, 2, 3, 4 применяются при изготовлении образцовых мер и калибров, квалитеты с 5-го по 11-й – для сопрягаемых элементов деталей, а квалитеты с 12-го по 18-й – для несопрягаемых элементов деталей.

Накопленный производственный опыт и исследования, проведенные в этой области, показали, что с увеличением размеров обрабатываемых по-

верхностей (при прочих равных условиях), сложнее достичь заданной точности, так как увеличение размера ведет к увеличению погрешности (рис. 3.1).

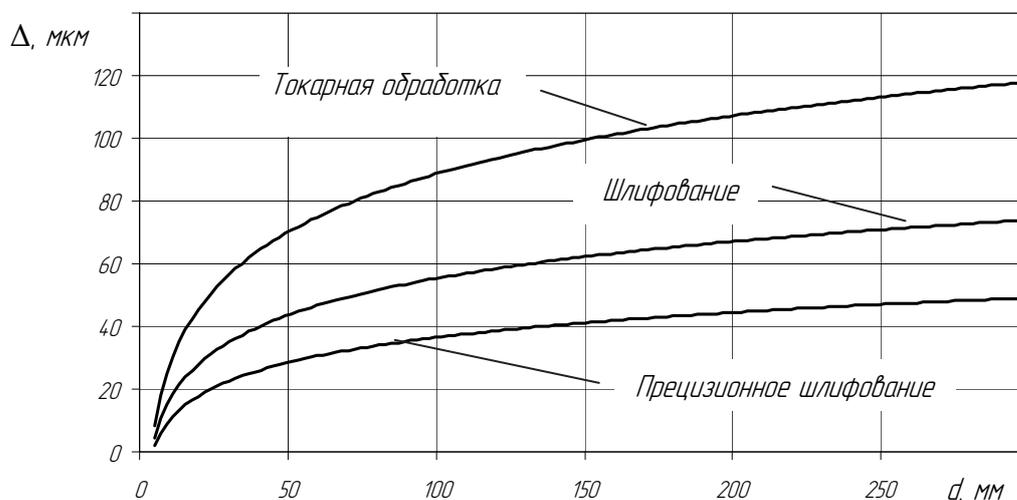


Рис. 3.1. Влияние размеров детали на погрешность обработки при различных методах обработки

Установлено, что увеличение погрешности с ростом размера детали при различных методах обработки выражается одинаковой зависимостью, которая аналитически выражается так:

$$\Delta = c \cdot \sqrt[3]{d}, \quad (3.1)$$

где Δ – диапазон рассеяния размеров (погрешность обработки), мкм; c – коэффициент, зависящий от метода обработки; d – диаметр обрабатываемой детали, мм.

На основании этого было принято, что допуски одного качества меняются так же, как изменяется погрешность обработки в зависимости от размера обрабатываемой детали. Для построения системы допусков была установлена **единица допуска**.

Единица допуска – множитель в формулах допусков, являющийся функцией номинального размера и служащий для определения числового значения допуска.

Единица допуска отражает влияние технологических, конструктивных и метрологических факторов, является мерой точности. При этом допуск рассчитывается по формуле

$$IT = k \cdot i, \quad (3.2)$$

где k – число единиц допуска, установленное для каждого качества; i – единица допуска. Это выражение применяется для расчета величины допуска размера при качествах со 2-го по 18-й.

Чтобы максимально сократить число значений допусков при построении рядов допусков, стандартом установлены интервалы размеров, внутри которых значение допуска для данного качества не меняется.

Единица допуска для размеров до 500 мм рассчитывается по формуле

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D, \quad (3.3)$$

где D – среднее геометрическое из крайних значений каждого интервала номинальных размеров, мм.

Число единиц допуска, соответствующее качествам со 2-го по 18-й

Квалитет	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Число единиц допуска k	2,7	3,7	5	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

Для размеров свыше 500 до 3150 единица допуска определяется по зависимости

$$i = 0,004 \cdot D + 2,1. \quad (3.4)$$

Значения k , начиная с 5-го качества, приблизительно соответствуют геометрической прогрессии с коэффициентом 1,6. Это значит, что при переходе от одного качества к следующему, более грубому, допуски возрастают на 60%. Через каждые пять качеств допуски увеличиваются в 10 раз.

3.2. Система отверстия и вала

В ЕСДП предусмотрены посадки в системе отверстия и в системе вала.

Посадки в системе отверстия – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия (рис. 3.2, а).

Посадки в системе вала – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала (рис. 3.2, б).

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю.

Основной вал – вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

Обе системы посадок находят применение. Однако система отверстия применяется чаще и по существу является предпочтительной. Применение системы отверстия позволяет существенно уменьшить использование дорогостоящего размерного режущего инструмента для

обработки отверстий, так как каждый такой инструмент (развертка или протяжка) предназначен для обработки одного размера с заданным полем допуска. В то же время различные по размеру валы обрабатываются одним и тем же инструментом, например резцом при точении.

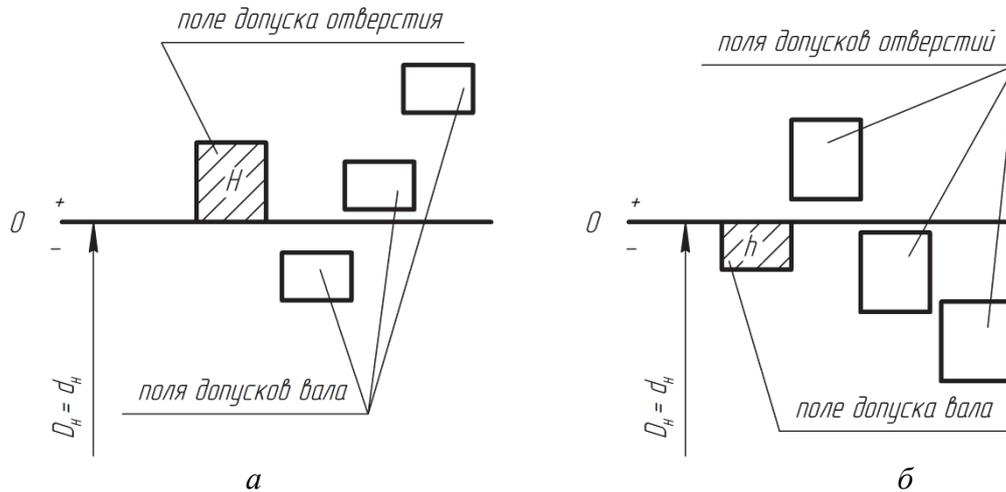


Рис. 3.2. Образование посадок:
а – в системе отверстия; б – в системе вала

Однако в ряде случаев целесообразно применять систему вала:

- когда валы изготавливаются из пруткового калиброванного материала без обработки резанием сопрягаемых поверхностей;
- при использовании в конструкции длинных валов, трубчатых деталей, особенно тогда, когда на участке одного и того же диаметра необходимо получить соединения различных деталей с разными посадками;
- в случае применения стандартных деталей или узлов выполненных по системе вала, например в соединении шпонок с пазами вала и ступицы.

В ряде случаев целесообразно отказаться от применения системных посадок, тогда ни одна из деталей в сопряжении не является основной, и такие посадки называются внесистемными или комбинированными.

ЛЕКЦИЯ 4

Ряды отклонений. Ограничительный отбор допусков. Нормальный температурный режим. Обозначение на чертежах посадок, квалитетов и предельных отклонений. Допуски и посадки для деталей из пластмасс.

3.4. Ряды отклонений

Для образования различных посадок в СДП предусмотрено по 28 различных расположений полей допусков валов и отверстий, определяемых соответствующими основными отклонениями для одного и того же номинального размера.

Основное отклонение – одно из двух предельных отклонений, ближайшее к нулевой линии (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. Величина основного отклонения зависит от номинального размера и не зависит от квалитета точности (основное отклонение полей допусков, обозначенных буквой H (h), всегда равно нулю).

Расположение полей допусков с соответствующими им основными отклонениями отверстий обозначаются прописными буквами латинского алфавита, валов – строчными. Схема расположения полей допусков с различными основными отклонениями для одного и того же номинального размера приведена на рис. 3.3 (поле допуска J_s (js) располагается всегда симметрично и основного отклонения не имеет).

Основные отклонения отверстий симметричны относительно нулевой линии основному отклонению вала с тем же буквенным обозначением. Из этой закономерности сделано исключение для отверстий с основными отклонениями J , K , M , N до 8-го квалитета включительно и для отверстий с основными отклонениями от P до ZC до 7-го квалитета включительно. Это сделано для того, чтобы две соответствующие друг другу посадки в системе отверстия и в системе вала, в которых отверстия данного квалитета соединяются с валом ближайшего более точного квалитета, обеспечивали идентичные зазоры или натяги. Числовые значения основных отклонений в диапазоне размеров до 2500 мм приведены в ГОСТ 25346 (для валов – в табл. 2; для отверстий – в табл. 3).

3.5. Ограничительный отбор допусков. Нормальный температурный режим

В диапазоне размеров от 1 до 500 мм, наиболее часто используемом в машиностроении, отбор полей допусков разделен на основной и дополнительный. Из основного отбора выделен более узкий ряд полей допусков для предпочтительного применения:

– 10 предпочтительных полей допусков отверстий: $E9, F8, H11, H9, H8, H7, Js7, K7, N7, P7$.

– 16 предпочтительных полей допусков валов: $d11, d9, e8, f7, g6, h11, h9, h8, h7, h6, js6, k6, n6, p6, r6, s6$.

Второй уровень предпочтения включает поля допусков ограничительного отбора (более 70 полей допусков отверстий и более 80 полей для валов, включая предпочтительные поля допусков). Третий уровень предпочтения включает все поля допусков отверстий и валов (поля допусков системы) и использует максимально возможную номенклатуру полей допусков – около 560 полей допусков отверстий и примерно столько же полей допусков валов.

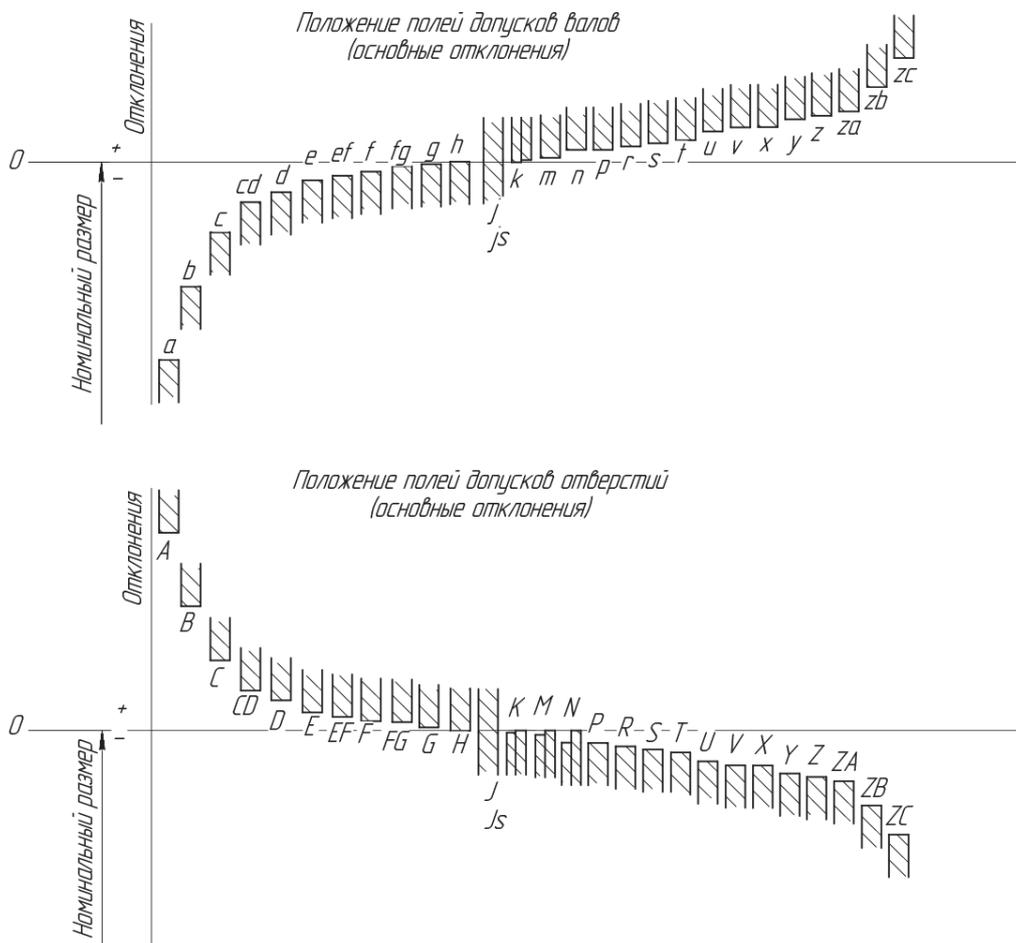


Рис. 3.3. Расположение полей допусков с различными основными отклонениями

Таким образом, при выборе полей допусков в первую очередь применяют предпочтительные, при невозможности выполнения конструктивных и технологических требований за счет предпочтительных полей – основные и только в отдельных случаях дополнительные.

Все допуски и предельные отклонения, установленные в ЕСПД, относятся к размерам деталей при температуре 20°C. При назначении допусков и посадок для деталей и сопряжений, работающих при повышенных или низких температурах, при необходимости, следует учитывать температурные деформации.

3.6. Обозначение на чертежах посадок, квалитетов и предельных отклонений

На сборочных чертежах для всех сопряжений должны быть указаны посадки одним из трех способов.

В первом случае на чертеже соединения после номинального размера в виде дроби указываются численные значения предельных отклонений, причем в числителе – предельные отклонения размера отверстия, а в знаменателе – предельные отклонения вала (рис. 3.4, а).

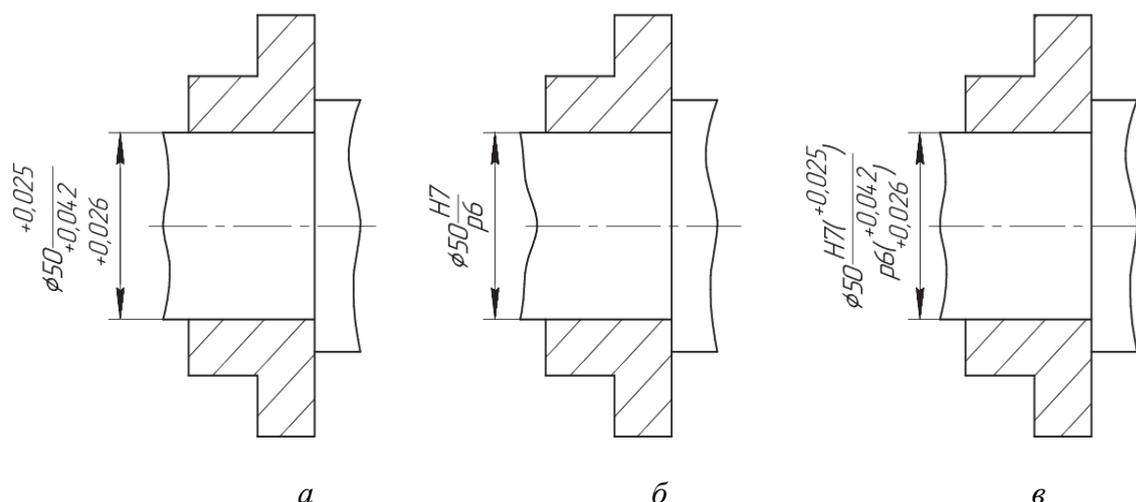


Рис. 3.4. Обозначение посадок на сборочных чертежах

Во втором случае для размеров отверстия и вала после номинального размера приводятся условно поля допусков путем указания буквенного обозначения основного отклонения с номером соответствующего квалитета (рис. 3.4, б).

Третий случай представляет собой комбинацию двух предыдущих, когда после номинального размера последовательно указывается буквенное обозначение основного отклонения с квалитетом, а в скобках приводятся численные значения соответствующих им предельных отклонений (рис. 3.4, в).

Аналогично на чертежах деталей указываются предельные отклонения и поля допусков размеров (рис. 3.5).

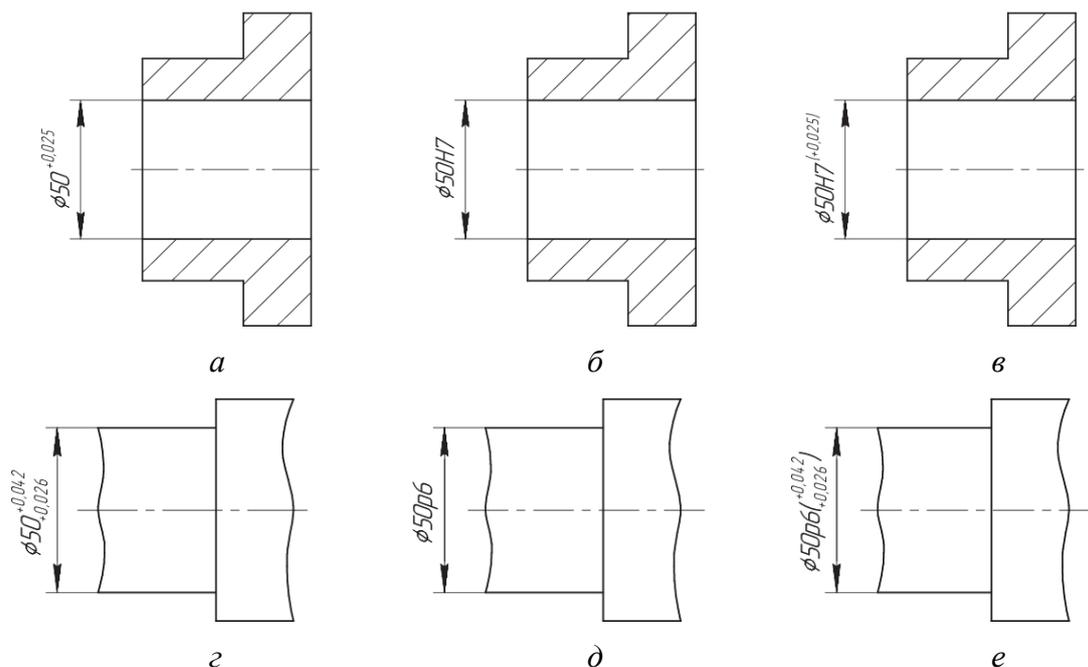


Рис. 3.5. Обозначение предельных отклонений и полей допусков на чертежах деталей:

- a, г* – непосредственное указание числовых значений предельных отклонений;
б, д – с помощью буквенного обозначения основного отклонения и качества;
в, е – комбинированное указание предельных отклонений

При указании предельных отклонений размеров на чертежах деталей предпочтение следует отдавать условному обозначению полей допусков, включающему буквенное обозначение основного отклонения и качества точности. При этом обязательно указывается числовое значение предельных отклонений:

- не включенных в ряды нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636;
- условные обозначения, которые не предусмотрены ГОСТ 25346;
- размеров уступов с несимметричным полем допуска.

Предельные отклонения линейных размеров могут не указываться непосредственно за номенальным размером, а указываться общей записью в технических требованиях чертежа как общие допуски (ГОСТ 30893.1).

3.7. Допуски и посадки для деталей из пластмасс

Допуски и посадки для деталей из пластмасс учитывают специфические особенности этих материалов в сравнении с металлическими: физико-механические свойства материалов – коэффициент линейного расширения больше, чем у стали, модуль упругости значительно меньше; способность к водо- и маслопоглощению и изменению раз-

меров деталей при эксплуатации в зависимости от среды, времени и других факторов. В связи с этим для деталей из пластмасс используются поля допусков в менее точных качествах (от 8 до 18). Ряды полей допусков для деталей из пластмасс содержатся в ГОСТ 25349 и являются ограничительным отбором (ограничением рядов) из совокупности рядов полей допусков по ГОСТ 25347, а также содержат поля допусков, не предусмотренные этим стандартом, но образованные по ГОСТ 25346. Кроме того, предусмотрены дополнительные поля допусков с основными отклонениями: AU (au) и AZ (az) для образования посадок с большими зазорами в соединениях, работающих в условиях повышенной влажности и температуры, когда рабочие зазоры в соединениях пластмассовых деталей уменьшаются в большей степени, чем в соединениях деталей из металлических материалов; ZE (ze) – для образования посадок с большими натягами.

Для деталей из металлических материалов, соединяемых с деталями из пластмасс, принимаются основные отклонения H (h) в качествах 7–12 (детали из металлических материалов в соединениях с деталями из пластмасс являются основными).

При назначении предельных отклонений на размеры деталей из пластмасс следует учитывать технологический допуск.

Технологический допуск – это допуск, определяемый пределами рассеяния размеров деталей при изготовлении с учетом экономически достижимой точности для данного материала и данного метода формирования или обработки деталей из пластмасс.

Экономичное изготовление изделий из пластмасс возможно в тех случаях, когда назначаемый по ГОСТ 25349 конструкторский допуск (определение по ГОСТ 25346) не больше технологического. Получающиеся на деталях из пластмасс технологические уклоны должны быть в поле допуска.

Точность размеров для деталей из пластмасс зависит от колебания усадки материала при формообразовании, конструкции детали и положения отдельных ее поверхностей в пресс-форме, технологических условий изготовления и может соответствовать 9-му качеству и грубее. Обработкой резанием деталей из пластмасс можно достичь точности в пределах 8–12 качествен в зависимости от методов и режимов обработки. Допуски на неотчетственные, несопрягаемые размеры деталей из пластмасс нужно назначать по 14–18-му качествам.

Поля допусков, предельные отклонения и рекомендованные посадки для деталей из пластмасс для размеров до 500 мм приведены в ГОСТ 25349.

Предельные отклонения и допуски, установленные стандартом, относятся к деталям из пластмасс, размеры которых определены при нормальном температурном режиме 20°C и относительной влажности воздуха 65%.

Детали, изготовленные литьем под давлением или прессованием, нужно проверять после выдержки в течение определенного времени. Например, размеры, изготовленные по 8–9-му квалитетам, нужно контролировать после выдержки в течение 12 часов, 10–13-му квалитетам – после 6 часов, 14–18-му квалитетам – после 3 часов.

Квалитеты точности размеров формующих элементов (форм для литья под давлением, пресс-форм) назначаются в зависимости от квалитетов точности размеров деталей из пластмасс ([2], табл. 6.29).

Контроль размеров деталей из пластмасс и формующих элементов осуществляется универсальными и специальными измерительными средствами (микрометрический инструмент, индикаторы и рычажно-зубчатые приборы, оптико-механические приборы и др.).

4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ЛЕКЦИЯ 5

Универсальные и специальные средства измерений и контроля. Контроль калибрами, их назначение, классификация и правила пользования. Конструкции калибров. Схемы расположения полей допусков калибров. Расчет исполнительных (предельных) размеров калибров.

4.1. Универсальные и специальные средства измерений и контроля

Для контроля гладких цилиндрических поверхностей используются методы непосредственной оценки и сравнения с мерой, контактные и безконтактные методы. При этом применяются универсальные и специальные средства измерения и контроля.

Универсальные измерительные приборы можно встретить в контрольно-измерительных лабораториях всех типов производств и в цехах единичных и мелкосерийных производств. Они бывают механические, оптические, пневматические, электрические.

Среди механических измерительных приборов можно выделить: простейшие инструменты – проверочные измерительные линейки, щупы, образцы шероховатости поверхности; штангенинструменты – штангенциркуль, штангенглубиномер, штангенрейсмас, штангензубомер; микрометрические инструменты – микрометр, микрометрический нутромер, микрометрический глубиномер; приборы с зубчатой передачей – индикаторы часового типа; рычажно-механические – микронметры, рычажные скобы, микрокаторы и т. п.

Представителями оптических измерительных приборов являются: вертикальные и горизонтальные оптиметры; инструментальные и универсальный микроскопы, проекторы, интерференционные приборы и др.

К электрическим измерительным приборам относятся: электроконтактные измерительные головки, индуктивные приборы, профилографы, профилометры и др.

Специальные измерительные приборы предназначены для измерения одного или нескольких параметров деталей определенного типа; например, приборы для измерения (контроля) параметров зубчатых колес, параметров резьб и т. п.

Возможности использования и точностные свойства средств измерений определяются их метрологическими характеристиками, которые влияют на результат измерений и на его погрешность.

Перечень нормируемых метрологических характеристик, правила выбора таких характеристик для средств измерений и способы их нормирования устанавливает ГОСТ 8.009.

4.2. Контроль калибрами, их назначение, классификация и правила пользования. Конструкции калибров

При массовом и крупносерийном производствах годность деталей часто проверяют предельными калибрами. Они нашли применение для контроля размеров деталей с допуском от $IT6$ до $IT17$. Применяются для проверки размеров гладких цилиндрических, конусных, резьбовых и шлицевых деталей, глубин и высот выступов, расположения поверхностей и других параметров.

Калибр – это средство контроля, воспроизводящее геометрические параметры элементов изделия, определяемые заданными предельными линейными или угловыми размерами, и контактирующее с элементом изделия по поверхностям, линиям или точкам.

Предельным называют калибр, воспроизводящий пределы максимума и минимума материала изделия. Предельные проходные калибры дают возможность контролировать одновременно размеры, отклонения формы и расположения поверхностей детали и проверять, находятся ли отклонения размеров формы и расположения поверхностей деталей в поле допуска.

Комплект рабочих предельных калибров для контроля размеров гладких цилиндрических деталей состоит из проходного калибра ПР (соответствует D_{\min} при контроле отверстий и d_{\max} – при контроле валов) и непроходного калибра НЕ (соответствует D_{\max} при контроле отверстий и d_{\min} – при контроле валов).

Особенность установления годности деталей с помощью предельных калибров заключается в определении не числовых значений контролируемых параметров, а годности детали, т. е. выясняют, выходит ли контролируемый параметр за нижний или верхний предел. Деталь считают годной, если проходной калибр проходит, а непроходной калибр не проходит по контролируемой поверхности детали. В этом случае действительный размер детали находится между заданными предельными размерами. Если проходной калибр не проходит, деталь является исправимым браком; если непроходной калибр проходит, деталь является неисправимым браком, т. к. размер такого вала меньше наименьшего допускаемого предельного размера детали, а размер такого отверстия – больше наибольшего допускаемого предельного размера.

В соответствии с ГОСТ 27284 различают следующие типы калибров:

– по форме рабочих поверхностей: гладкий, конусный, резьбовой, шпоночный, шлицевой, профильный;

– по назначению: проходной, непроходной, поэлементный, комплексный, рабочий, контрольный, установочный, сортировочный, для измерения глубины (высоты), уступа;

– по конструктивным признакам: калибр-пробка (рис. 4.1), калибр-скоба (рис. 4.2), калибр-кольцо, калибр-втулка, нерегулируемый, регулируемый, полный, неполный, однопредельный, двухпредельный (односторонний, двухсторонний).

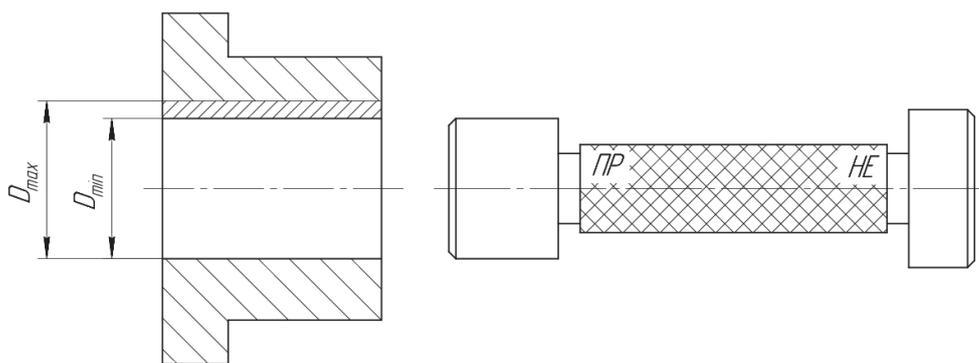


Рис. 4.1. Двухсторонняя калибр-пробка

Гладкий калибр представляет собой калибр с гладкой рабочей поверхностью (цилиндрической, сферической, конической или плоской).

Рабочие калибры применяются для контроля изделий на предприятии, а **контрольные** – для установки регулируемых калибров-скоб и контроля нерегулируемых калибров-скоб.

Валы и отверстия с допуском *IT5* и точнее рекомендуется проверять универсальными средствами измерения, так как калибры вносят большую погрешность измерения.

Конструктивно калибры изготавливают либо однопредельными, содержащими только один проходной или непроходной калибр, либо двухпредельными (двусторонними), у которых проходной и непроходной калибры расположены с противоположных сторон. Иногда двухпредельные калибры изготавливают как односторонние, т. е. у таких калибров проходная и непроходная стороны расположены одна за другой.

Для контроля валов используют главным образом скобы. Наиболее распространены односторонние двухпредельные скобы (рис. 4.2). Применяют также регулируемые скобы, которые можно настраивать на разные размеры. Это позволяет использовать одну скобу для измерения размеров, лежащих в определенном интервале, а также дает возможность компенсировать износ рабочих поверхностей. Регулируемые скобы, по сравнению с жесткими, имеют меньшую точность и надежность, поэтому их не применяют для контроля изделий, на размеры которых назначаются допуски точнее 8-го квалитета.

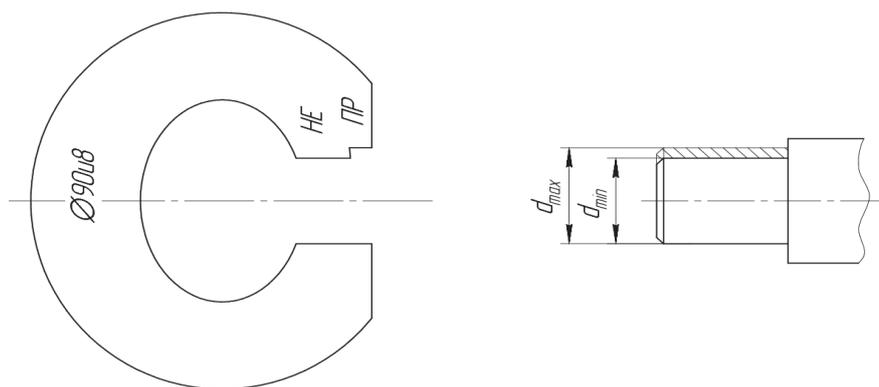


Рис. 4.2. Двухсторонняя калибр-скоба и схема измерения вала

Для контроля отверстий используют калибры-пробки. Пример конструкции двухсторонней калибра-пробки приведен на рис. 4.1.

Для контроля длин участков валов, ширины пазов или выступов используют калибры в виде плоских пластин (рис. 4.3).

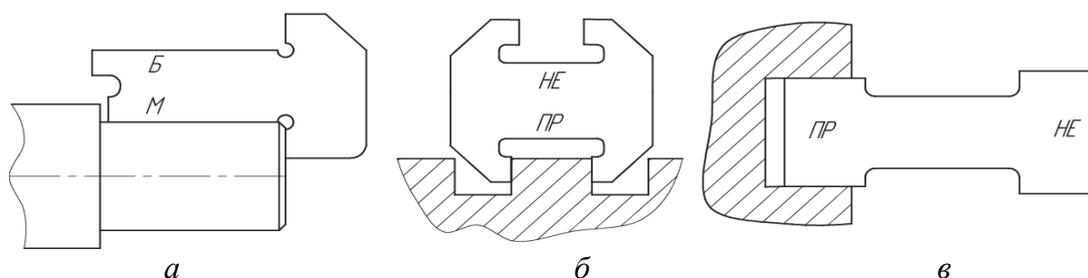


Рис. 4.3. Калибры для контроля:

a – длин участков валов; *б* – ширины выступов; *в* – ширины пазов

Калибры изготовляют из инструментальных углеродистых, легированных конструкционных или цементируемых сталей с последующей закалкой на твердость 62–65 HRC. Для снижения затрат на калибры стремятся увеличить их износостойкость. Для достижения этого применяют износостойкие покрытия, например хромирование, или оснащают их твердым сплавом, что обеспечивает значительное увеличение износостойкости (в 50–150 раз) при незначительном увеличении стоимости изготовления (в 2–5 раз).

4.2. Схемы расположения полей допусков калибров

В соответствии с ГОСТ 24853 на гладкие калибры установлены следующие допуски на изготовление (рис. 4.4): D_{\min} , D_{\max} – соответственно наименьший и наибольший предельные размеры изделия; IT – допуск изделия; H – допуск калибров для отверстия (кроме калибров со сферическими измерительными поверхностями); H_S – допуск калибров со сферическими измерительными поверхностями; H_1 – допуск калибров

для вала; H_p – допуск контрольных калибров для скоб; Z – отклонение середины поля допуска проходного калибра-пробки относительно наименьшего предельного размера контролируемого отверстия; Z_1 – отклонение середины поля допуска проходного калибра-кольца или калибра-скобы относительно наибольшего предельного размера вала; Y – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для отверстия за границу поля допуска отверстия; Y_1 – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для вала за границу поля допуска вала.

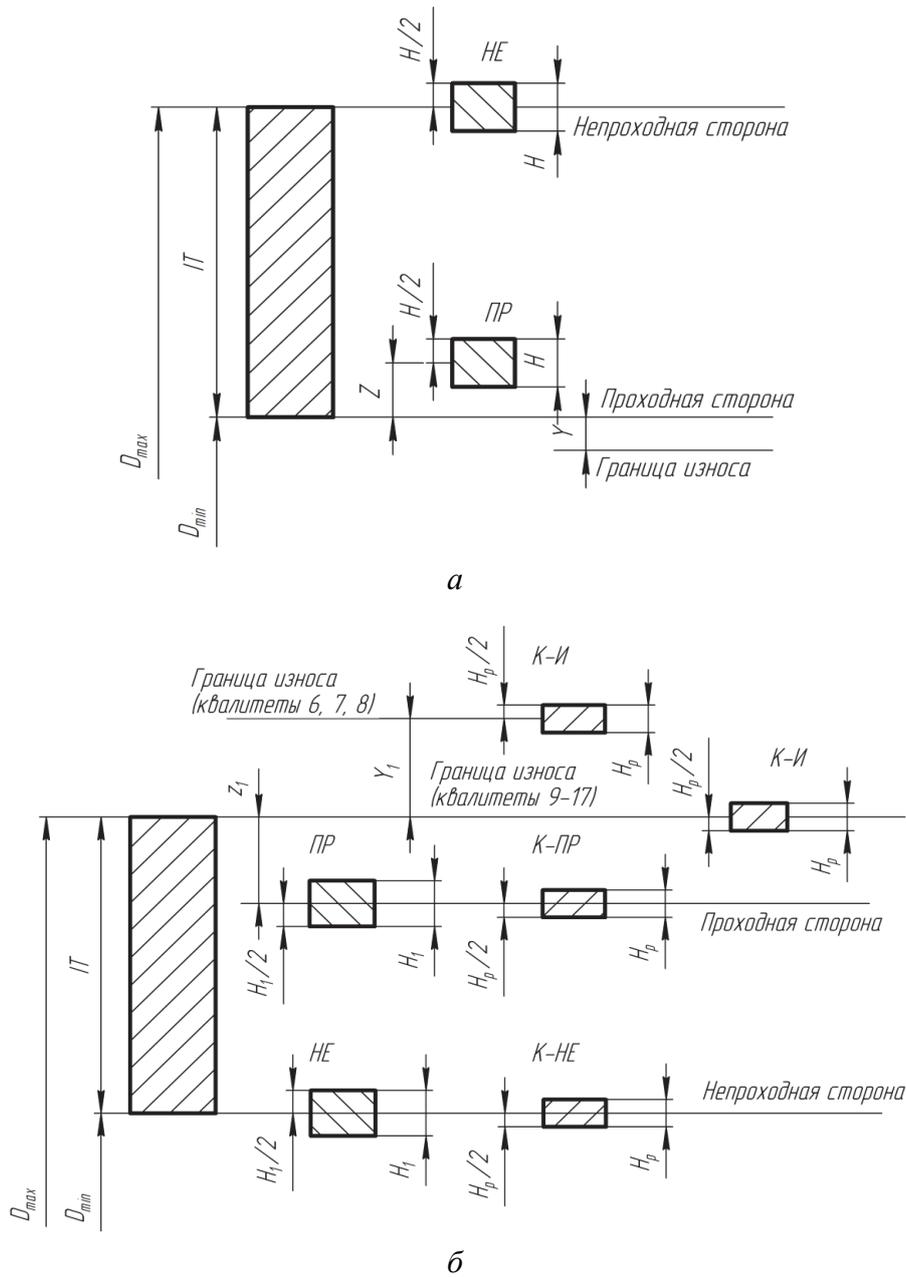


Рис. 4.4. Схемы расположения полей допусков калибров:
 а – для отверстий номинальных размеров до 180 мм; б – для валов номинальных размеров до 180 мм

4.3. Расчет исполнительных (предельных) размеров калибров

Исполнительными называют предельные размеры калибра, по которым изготавливают новый калибр. Они должны иметь допуск в виде одного отклонения, направленного в тело калибра, т. е. как для основного отверстия и основного вала. Поэтому исполнительный размер на чертеже скобы проставляют как наименьший предельный размер с положительным отклонением, на чертеже пробки и контрольного калибра – как наибольший предельный размер с отрицательным отклонением. Исполнительные размеры калибров определяют по формулам в соответствии с ГОСТ 24853.

Прежде чем рассчитать исполнительные размеры калибров, нужно найти предельные размеры контролируемой детали.

При подсчете исполнительных размеров калибров необходимо пользоваться следующим правилом: размеры рабочих калибров для контроля изделий квалитетов 15–17 следует округлять до целого микрометра; квалитетов 6–14 и всех контрольных калибров – до величин, кратных 0,5 мкм, при этом допуск на калибры сохраняется; размеры, оканчивающиеся на 0,25 и 0,75 мкм, следует округлять до величин, кратных 0,5 мкм, в сторону сокращения производственного допуска изделия.

5. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ВОЛНИСТОСТЬ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ЛЕКЦИЯ 6

Отклонения формы и расположения поверхностей. Система нормирования этих отклонений. Отклонения формы цилиндрических и плоских поверхностей и их нормирование. Отклонения расположения поверхностей деталей и их нормирование. Методы и средства контроля отклонений формы и взаимного расположения поверхностей.

5.1. Отклонения формы и расположения поверхностей. Система нормирования этих отклонений

Точность формы характеризуется отклонением формы реальной поверхности (профиля) от формы номинальной поверхности (профиля), заданной чертежом, и определяется в соответствии с ГОСТ 24642.

Реальная поверхность – это поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды (рис. 5.1).

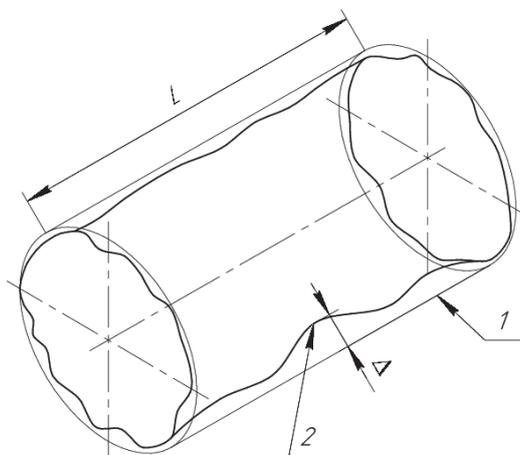


Рис. 5.1. Отклонение от цилиндричности:
1 – прилегающий цилиндр; 2 – реальная поверхность;
L – нормируемый участок

Номинальная поверхность – это идеальная поверхность, форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

Для количественной оценки отклонений формы используют принцип прилегающей поверхности (профиля).

Прилегающая поверхность (профиль) – это поверхность (профиль), имеющая форму номинальной поверхности (профиля), соприкасающаяся

с реальной поверхностью (профилем) и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее до наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка было минимальным (рис. 5.1).

Профиль – линия пересечения поверхности с плоскостью или заданной поверхностью (если положение секущей плоскости не указывается – принимается по нормали к поверхности).

Нормируемый участок – участок поверхности или линии, к которому относятся допуск формы (расположения, суммарный допуск формы и расположения) или соответствующие отклонения (рис. 5.1).

Если нормируемый участок не задан, то допуск формы (расположения, суммарный допуск формы и расположения) или соответствующие отклонения должны относиться ко всей рассматриваемой поверхности или длине рассматриваемого элемента.

Отклонение формы реального элемента (поверхности или профиля) от номинальной формы – это наибольшее расстояние Δ от точек реального элемента (поверхности или профиля) по нормали до прилегающего элемента (поверхности или профиля). Отклонения формы могут быть комплексными и частными.

Допуск формы – наибольшее допускаемое значение отклонения формы.

Поле допуска формы – область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реального рассматриваемого элемента в пределах нормируемого участка, ширина или диаметр которой определяется значением допуска, а расположение относительно реального элемента – прилегающим элементом.

Элемент – обобщенный термин, под которым в зависимости от соответствующих условий могут пониматься поверхность, линия, точка.

Из определений понятий допуска формы и отклонения формы следует, что под первым понимается нормативное ограничение отклонений формы полями допусков, а под вторым – характеристика реальной поверхности.

Номинальное расположение – расположение рассматриваемого элемента (поверхности или профиля), определяемое номинальными линейными и угловыми размерами между ним и базами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы.

Реальное расположение – расположение рассматриваемого элемента (поверхности или профиля), определяемое действительными линейными и угловыми размерами между ним и базами или между рассматриваемыми элементами, если базы не заданы.

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

Допуск расположения – предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения.

Поле допуска расположения – область в пространстве или заданной плоскости, внутри которой должны 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.

Для правильной оценки отклонений расположения поверхностей их отклонения формы, а также отклонения формы баз не должны учитываться. Для этого реальные поверхности (профили) заменяются прилегающими, а за оси (плоскости) симметрии и центры реальных поверхностей (профилей) принимаются оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

Существующая взаимосвязь между действительными размерами различных элементов детали в разных сечениях и формой, а также расположением поверхностей позволяет утверждать, что максимальные отклонения формы и расположения поверхностей не могут превышать допуска размера.

На практике значения допусков формы, расположения и суммарных допусков формы и расположения поверхностей выбирают по степени точности формы, определяемой в зависимости от уровня относительной геометрической точности (ГОСТ 24648 предусматривает четыре уровня) и от качества точности размера.

5.2. Отклонения формы цилиндрических и плоских поверхностей и их нормирование

Отклонения формы номинально цилиндрических поверхностей. Для цилиндрических поверхностей комплексным отклонением является **отклонение от цилиндричности**, которое характеризует наибольшее расстояние Δ от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра (рис. 5.1). В качестве прилегающего цилиндра принят цилиндр минимального диаметра, описанный вокруг реальной наружной поверхности (цилиндр максимального диаметра, вписанный в реальную внутреннюю поверхность). **Допуск цилиндричности** – наибольшее допускаемое значение отклонения от цилиндричности. Поле допуска цилиндричности – область в пространстве, ограниченная двумя соосными цилиндрами, стоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску цилиндричности.

Отклонение от цилиндричности достаточно сложно для контроля, поэтому чаще нормируют отклонения от круглости и профиля продольного сечения.

Отклонение от круглости (некруглость) – это отклонение, при котором реальная поверхность отличается от окружности. Величина отклонения от круглости численно равна наибольшему расстоянию Δ от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 5.2, а). **Допуск круглости** – наибольшее допускаемое значение отклонения от круглости. Элементарные (частные) погрешности формы номинально круглых сечений – овальность и огранка.

Овальность – отклонение, при котором реальный профиль представляет собой овальную фигуру. Величина овальности (рис. 5.2, б) численно равна полуразности между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения:

$$\Delta = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \quad (5.1)$$

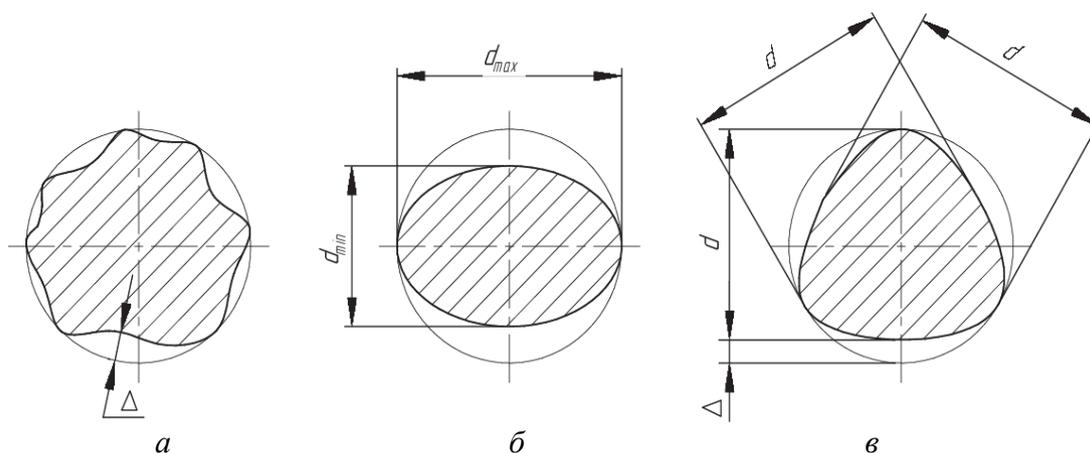


Рис. 5.2. Отклонения формы в поперечном сечении:
 а – отклонение от круглости (некруглость); б – овальность; в – огранка

Овальность детали возникает, например, вследствие биения шпинделя токарного или шлифовального станка, дисбаланса детали и других причин. **Огранка** – отклонение, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру (рис. 5.2, в). Появление огранки объясняется изменением положения мгновенного центра вращения детали, например, при бесцентровом шлифовании.

Отклонение профиля продольного сечения – наибольшее расстояние от точек реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка.

Частные виды отклонений профиля цилиндрических поверхностей в продольном сечении: конусообразность, бочкообразность, седлообразность, отклонение от прямолинейности оси (изогнутость), рис. 5.3.

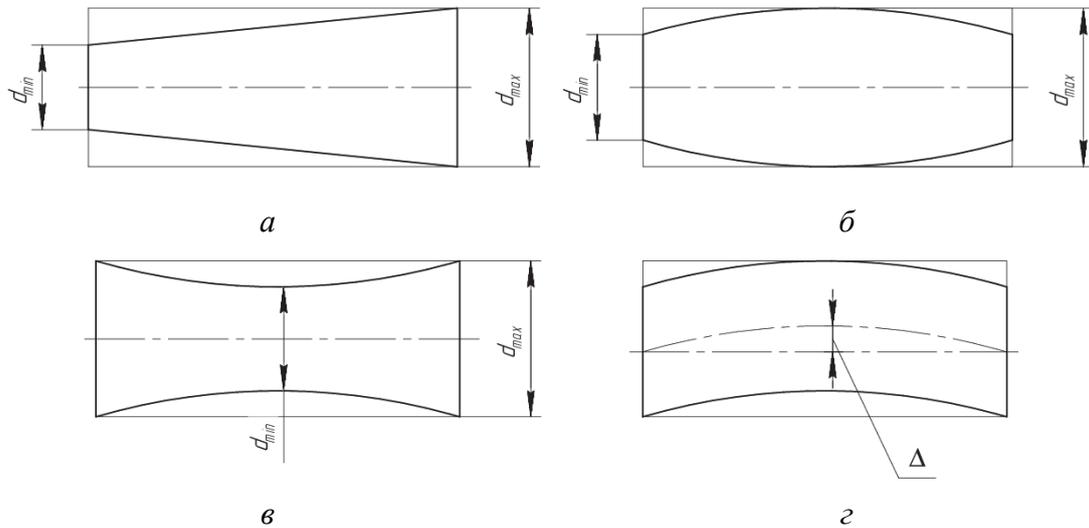


Рис. 5.3. Отклонения формы цилиндрических поверхностей в продольном сечении:
a – конусообразность; *б* – бочкообразность; *в* – седлообразность;
г – отклонение от прямолинейности оси (изогнутость)

Конусообразность – это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 5.3, *a*).

Бочкообразность – это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 5.3, *б*).

Седлообразность – это отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения (рис. 5.3, *в*).

Количественно названные отклонения определяют по формуле (5.1).

Отклонение от прямолинейности оси характеризуется непрямолинейностью геометрического места центров поперечных сечений цилиндрической поверхности (рис. 5.3, *г*).

Отклонения формы номинально плоских поверхностей. Отклонение от плоскостности – комплексный показатель отклонений формы плоских поверхностей. Оно характеризуется совокупностью всех отклонений формы поверхности в любом направлении (сечении) и численно равно наибольшему расстоянию Δ от реальной поверхности до прилегающей плоскости (рис. 5.4) в пределах нормируемого участка. **Допуск плоскостности** – наибольшее допустимое значение отклонения от плоскостности. **Поле допуска плоскостности** – область в

пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску плоскостности.

Вогнутость и **выпуклость** (рис. 5.4) – элементарные (частные) виды отклонений формы номинально плоских поверхностей. В первом случае расстояние от точек реальной поверхности до точек прилегающей плоскости увеличивается от краев к середине, во втором – наоборот.

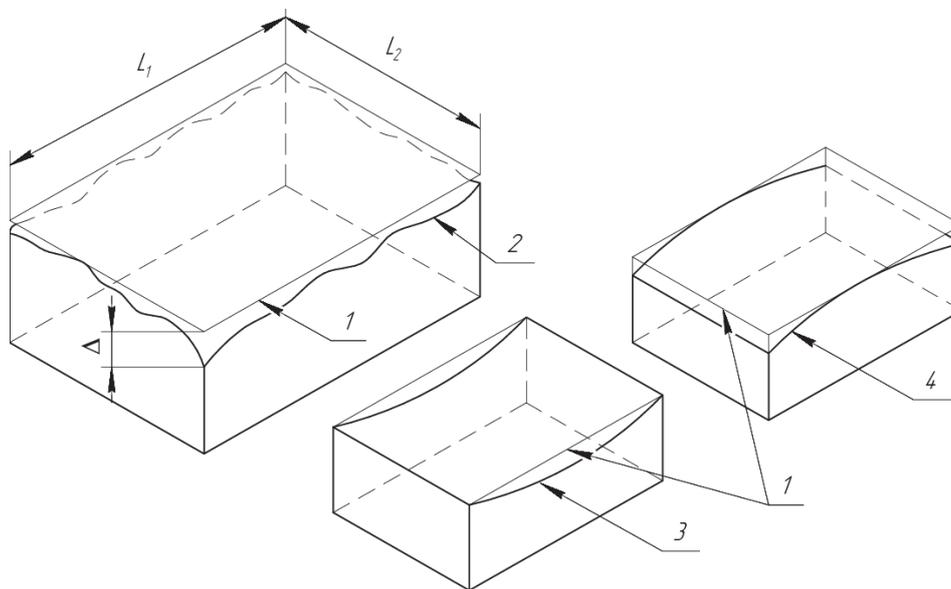


Рис. 5.4. Отклонение от плоскостности:

1 – прилегающая плоскость; 2 – реальная поверхность;
3 – вогнутость реальной поверхности; 4 – выпуклость реальной поверхности

Отклонение от прямолинейности – наибольшее расстояние Δ от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка (рис. 5.5). **Допуск прямолинейности** – наибольшее допускаемое значение отклонения от прямолинейности.

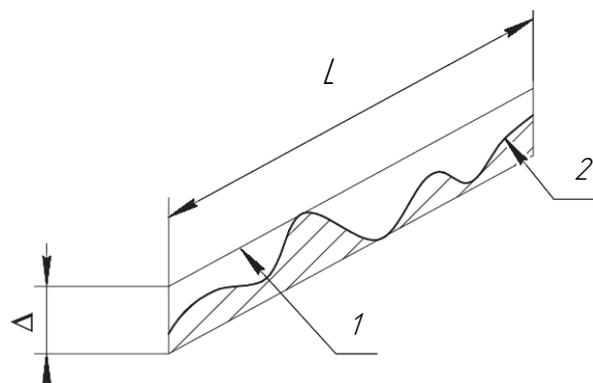


Рис. 5.5. Отклонение от прямолинейности:

1 – прилегающий профиль; 2 – реальный профиль;
 L – нормируемый участок

5.3. Отклонения расположения поверхностей деталей и их нормирование

Отклонение от параллельности плоскостей – разность Δ наибольшего (a) и наименьшего (b) расстояний между плоскостями в пределах нормируемого участка (рис. 5.6). **Допуск параллельности** – наибольшее допускаемое значение отклонения от параллельности. **Поле допуска параллельности плоскостей** – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску параллельности, и параллельными базовой плоскости.

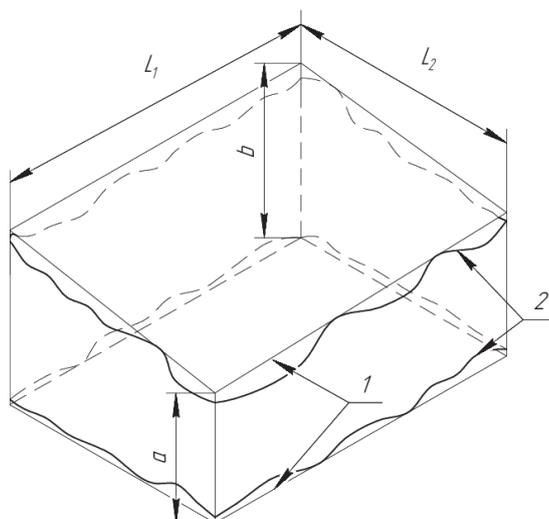


Рис. 5.6. Отклонение от параллельности плоскостей:
1 – прилегающие поверхности; 2 – реальные поверхности (имеющие отклонения формы, которые не учитываются)

Отклонение от параллельности прямых в плоскости – разность Δ наибольшего (a) и наименьшего (b) расстояний между прямыми на длине нормируемого участка (рис. 5.7).

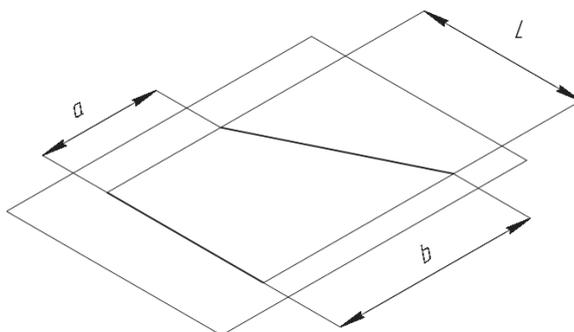


Рис. 5.7. Отклонение от параллельности прямых в плоскости:
 L – длина нормируемого участка

Отклонение от параллельности осей (прямых) в пространстве – геометрическая сумма Δ отклонений от параллельности проекций осей (прямых) в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 5.8). Одна из этих плоскостей является общей плоскостью осей (проходит через одну из осей и точку другой оси). Величина Δ определяется по следующему выражению:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} . \quad (5.2)$$

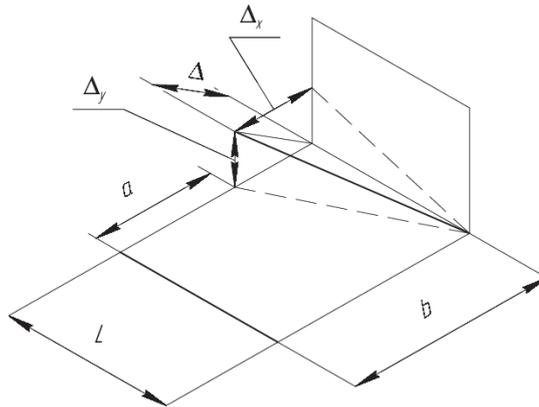


Рис. 5.8. Отклонение от параллельности осей (прямых) в пространстве:
 L – длина нормируемого участка

Перекося осей (или прямых) – отклонение от параллельности Δ проекций осей (прямых) на плоскость, перпендикулярную к общей плоскости осей и проходящую через одну из осей (базовую). Схема приведена на рис. 5.9.

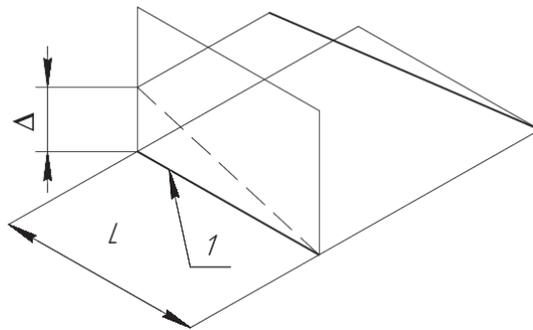


Рис. 5.9. Перекося осей:
 l – база (лежит в общей плоскости); L – длина нормируемого участка

Отклонение от перпендикулярности плоскостей – отклонение угла между плоскостями от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах Δ на длине нормируемого участка (рис. 5.10, а). **Допуск перпендикулярности** – наибольшее допустимое значение отклонения от перпендикулярности.

Отклонение наклона плоскости относительно плоскости (оси или прямой) – отклонение угла между плоскостью и базовой плоскостью (базовой осью или прямой) от номинального угла, выраженное в линейных единицах Δ на длине нормируемого участка (рис. 5.10, б).

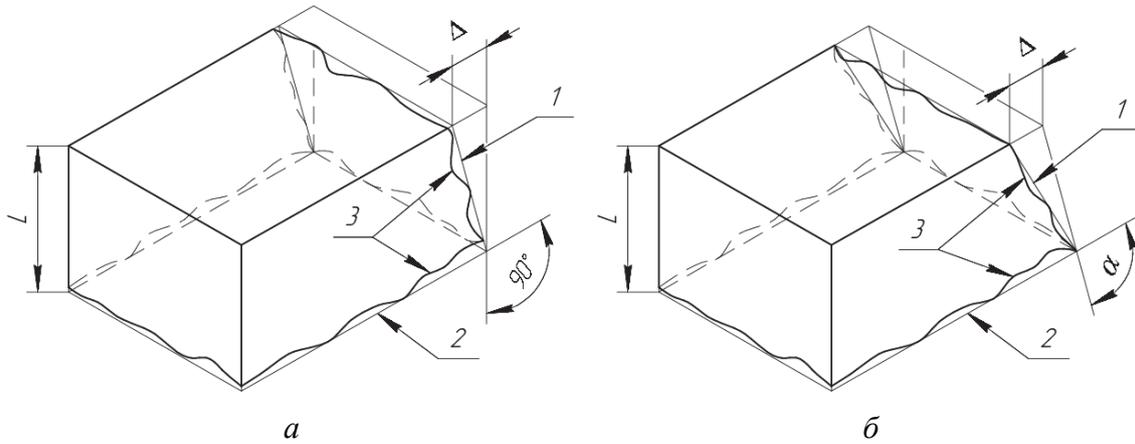


Рис. 5.10. Отклонение от перпендикулярности и угла наклона плоскостей:
 1, 2 – прилегающие плоскости (2 – база); 3 – реальные поверхности;
 L – длина нормируемого участка

Отклонение от симметричности – наибольшее расстояние Δ между плоскостью симметрии (осью) рассматриваемого элемента (или элементов) и базой (плоскостью симметрии базового элемента или общей плоскостью симметрии двух или нескольких элементов) в пределах нормируемого участка (рис. 5.11).

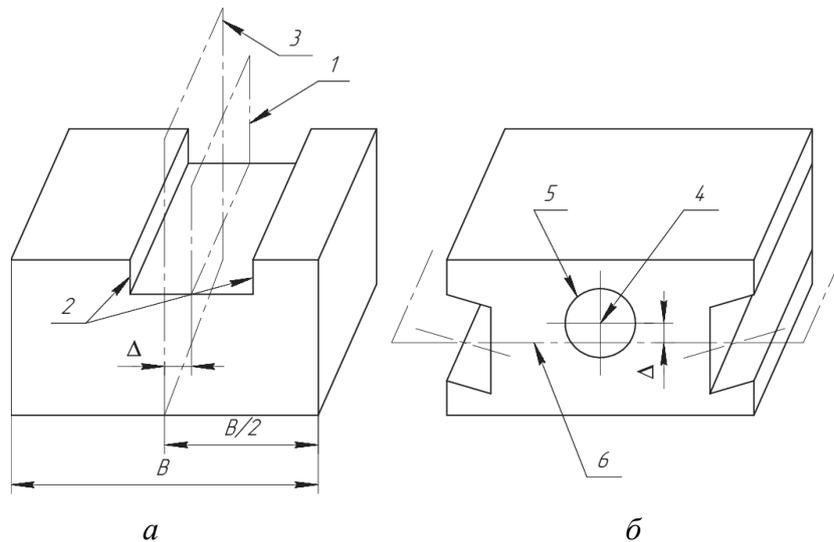


Рис. 5.11. Отклонение от симметричности:
 а – плоскости симметрии 1 рассматриваемого элемента 2 относительно плоскости симметрии 3 базового элемента; б – оси симметрии 4 рассматриваемого элемента 5 относительно общей плоскости симметрии 6 базовых элементов

Позиционное отклонение – наибольшее расстояние Δ между реальным расположением элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка (рис. 5.12). **Позиционный допуск** также можно представить в диаметральном выражении как удвоенное наибольшее допускаемое значение позиционного отклонения элемента или в радиусном выражении как наибольшее допускаемое значение позиционного отклонения элемента.

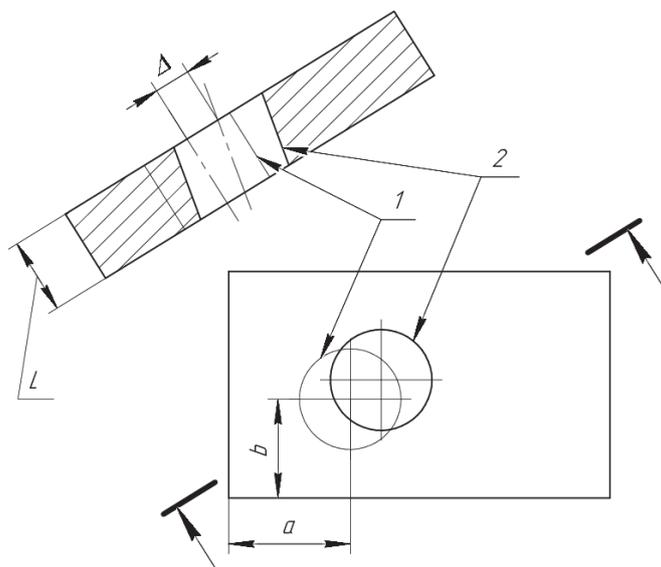


Рис. 5.12. Позиционное отклонение:

1 – номинальная поверхность; 2 – реальная поверхность;
 a и b – номинальные размеры; L – длина нормируемого участка

Отклонение от пересечения осей – наименьшее расстояние Δ между осями, номинально пересекающимися (рис. 5.13).

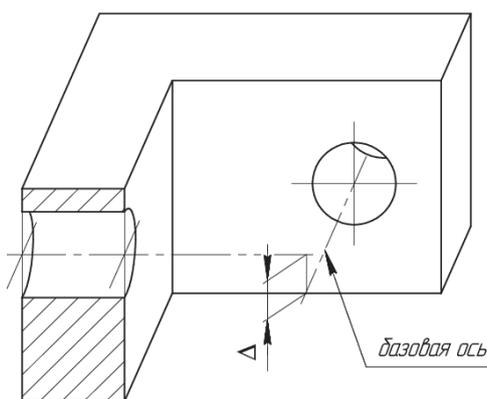


Рис. 5.13. Позиционное отклонение

Отклонение от соосности – наибольшее расстояние Δ между осью рассматриваемой поверхности вращения и базой (осью базовой

поверхности или общей осью двух или нескольких поверхностей) на длине нормируемого участка (рис. 5.14).

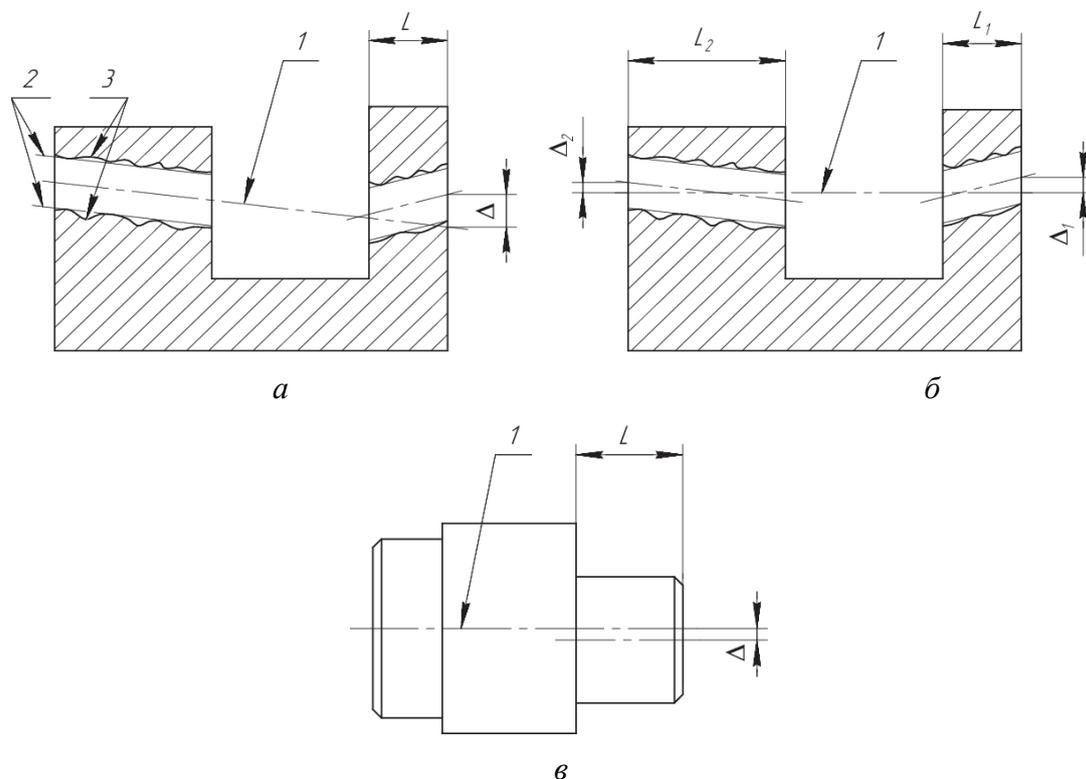


Рис. 5.14. Отклонение от соосности:

a – оси рассматриваемого отверстия относительно оси другого отверстия;

б, в – осей рассматриваемых отверстий относительно их общей оси;

1 – ось базовой поверхности (*a*) или общая ось (*б, в*);

2 – прилегающая поверхность; *3* – реальная поверхность;

L, L₁, L₂ – длина нормируемого участка

О **допуске соосности** можно говорить в диаметральном и в радиусном выражении. В первом случае это удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения от соосности, а во втором – наибольшее допускаемое значение отклонения от соосности.

5.4. Методы и средства контроля отклонений формы и взаимного расположения поверхностей

Измерение отклонений формы цилиндрических поверхностей. Наиболее полное представление о форме реальной поверхности позволяют получить универсальные кругломеры с вращающимся столом. Принцип измерения на кругломере заключается в том, что прибор воспроизводит практически идеальную окружность, которая сравнивается с реальной в различных сечениях измеряемой поверхности,

перпендикулярных ее оси. При достаточном количестве плоскостей измерения в результате измерений можно установить величину отклонения от цилиндричности.

Так как кругломер достаточно сложный и дорогостоящий прибор, на практике часто прибегают к измерениям частных отклонений формы в поперечном и продольном направлениях.

Измерение овальности. Величину овальности можно определить с помощью двухконтактного прибора (рис. 5.15, а), в качестве которого можно использовать скобы с зубчатыми или рычажно-зубчатыми передачами или базированием объекта измерения на призме, при этом наконечник измерительной головки должен ориентироваться определенным образом относительно контролируемой поверхности (рис. 5.15, б).

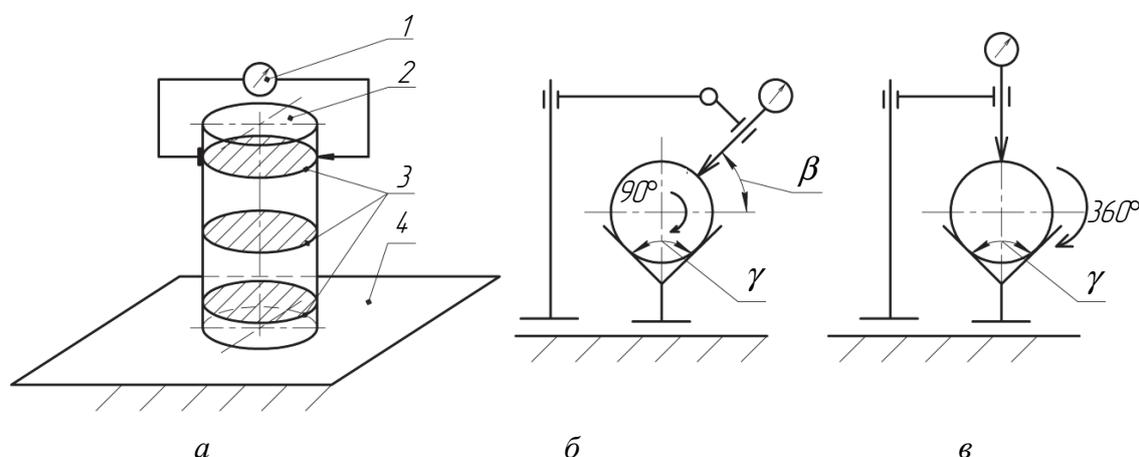


Рис. 5.15. Измерение отклонений формы цилиндрических поверхностей: а – измерение двухконтактным прибором: 1 – измерительное средство; 2 – измеряемая деталь; 3 – измеряемые сечения; 4 – поверочная плита; б – измерение овальности на призме (при $\gamma = 90^\circ$ и $\beta = 45^\circ$ коэффициент воспроизведения 2); в – измерение огранки на призме (при $\gamma = 90^\circ$ для трех- и пятигранных сечений коэффициент воспроизведения 2)

Измерение огранки. Огранку охватываемых цилиндрических поверхностей довольно просто измерить на призме (рис. 5.15, в). При этом измерительный стержень индикатора должен располагаться по биссектрисе угла призмы. Вращая деталь вокруг ее оси, устанавливают максимальные и минимальные отклонения показаний индикатора от нуля, а за величину огранки в контролируемом сечении принимают разность полученных значений, деленную на коэффициент воспроизведения.

Измерение отклонений профиля продольного сечения. Качественно оценить наличие отклонений формы в продольном направлении у цилиндрических поверхностей можно на просвет с помощью лекальной

линейки. Установить величину соответствующих частных отклонений профиля продольного сечения можно с помощью образцов просвета или путем измерения не менее чем в трех сечениях диаметров двух-контактным прибором (рис. 5.15, а) в двух взаимоперпендикулярных направлениях. Для определения конкретного вида отклонения сравнивают значения диаметров, измеренные по краям контролируемой поверхности, а за величину отклонения принимают наибольшее из значений Δ , рассчитанных по формуле (5.1) для каждого из направлений.

Измерение отклонений формы плоских поверхностей. Для измерения отклонений формы плоских поверхностей относительно небольших объектов можно использовать схему измерения, основанную на использовании поверочной плиты и измерительной головки (рис. 5.16).

Измеряемая деталь 1 устанавливается на опорах (измерительных прокладках) 3, расположенных на поверочной плите 4. Измерительная головка 2 на стойке перемещается по поверочной плите вдоль профиля детали (дополнительно можно использовать направляющую линейку). По показаниям измерительной головки в отдельных местах профиля строится профилограмма и определяется величина отклонения от прямолинейности. Повторяя измерения в нескольких направлениях, можно дать оценку отклонению от плоскостности.

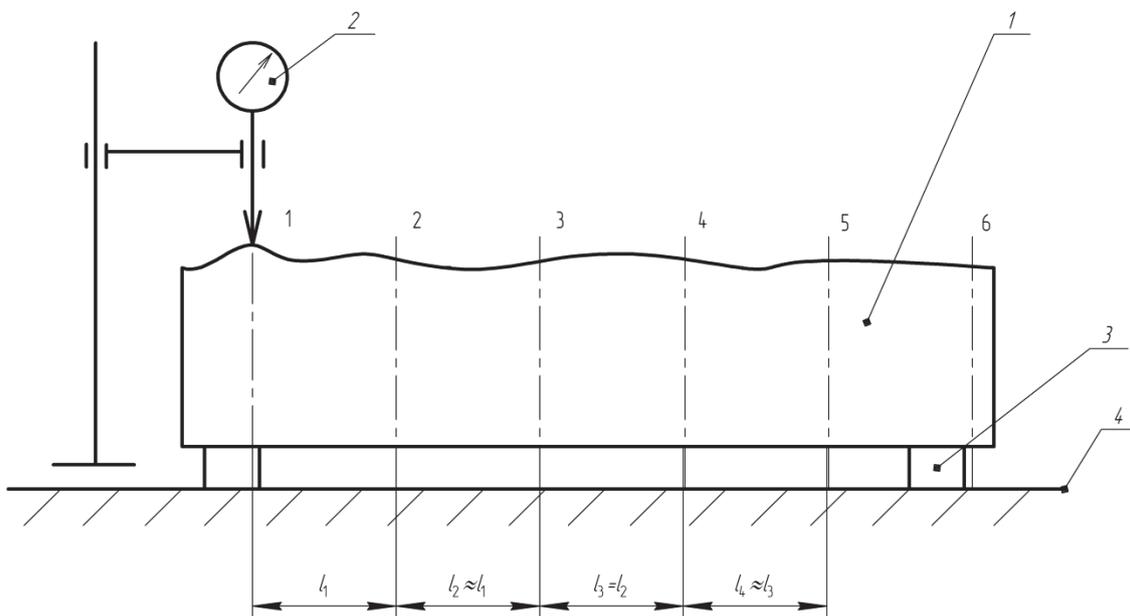


Рис. 5.16. Схема измерения отклонения от прямолинейности:

- 1 – измеряемая деталь; 2 – измерительная головка;
- 3 – измерительные прокладки; 4 – поверочная плита

Измерение отклонения от параллельности поверхностей. Отклонение от параллельности поверхностей относительно просто

измерить с помощью измерительных головок и приспособлений, воспроизводящих прилегающие поверхности: поверочных плит, плоско-параллельных пластин (часто используют стеклянные) и лекальных линеек.

Схема такого измерения приведена на рис. 5.17.

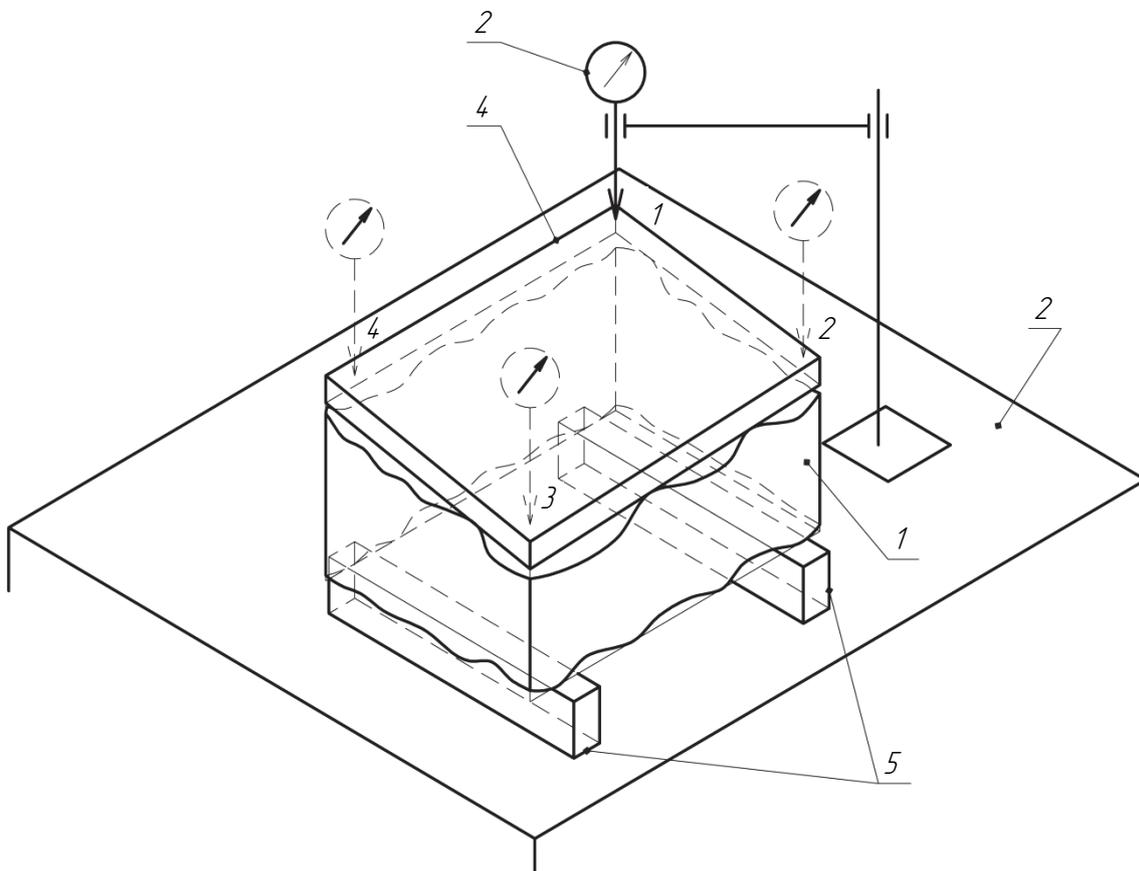


Рис. 5.17. Схема измерения отклонения от параллельности с помощью пластин:
1 – измеряемая деталь; 2 – измерительная головка;
3 – поверочная плита; 4 – стеклянная пластина;
5 – измерительные прокладки

Деталь 1 установлена на поверочной плите 3 (воспроизводит прилегающую поверхность к базовой поверхности детали 1) на измерительных прокладках 5, которые располагают на возможно большем расстоянии друг от друга. Стеклянная пластина 4 устанавливается на поверхности, положение которой контролируется относительно базовой. Измерительной головкой определяются отклонения в крайних точках в пределах нормируемого участка. Разность между максимальным и минимальным отклонениями от нулевого положения есть величина отклонения от параллельности.

ЛЕКЦИЯ 7

Обозначение на чертежах предельных отклонений формы и расположения поверхностей. Волнистость и шероховатость поверхности. Параметры шероховатости, их условные обозначения и нормирование. Обозначение параметров шероховатости на чертежах. Влияние шероховатости и волнистости поверхностей на качество машин и механизмов.

5.5. Обозначение на чертежах предельных отклонений формы и расположения поверхностей

Допуски формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными обозначениями или текстом в технических требованиях. Применение условных обозначений предпочтительно. Обозначения на чертежах допусков формы и расположения поверхностей выполняют по ГОСТ 2.308.

Условное обозначение, значение допуска и (при необходимости) обозначение базы вписывают в рамку (рис. 5.18). Условные обозначения допусков формы, расположения и суммарных допусков формы и расположения приведены в табл. 5.1.

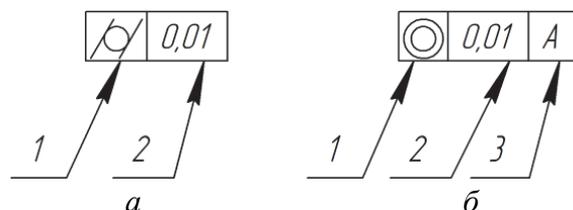


Рис. 5.18. Структура знака для обозначения допусков формы, расположения и суммарных допусков формы и расположения:

- a* – обозначение допуска цилиндричности; *б* – обозначение допуска соосности;
1 – условное обозначение допуска; *2* – численное значение допуска;
3 – обозначение базы (может отсутствовать)

В рамке (рис. 5.18) слева направо приводятся: *1* – условное обозначение допуска, *2* – числовое значение допуска, *3* – обозначение базы (баз). Кроме этого, в частях рамки *2* и *3* при необходимости может указываться дополнительная информация. Если перед числовым значением допуска стоит литера «*T*» или условное обозначение диаметра, то допуск приведен в диаметральном выражении, если «*T/2*» или «*R*» – в радиусном выражении.

Числовое значение допуска действительно для всей поверхности или длины элемента (см. пример на рис. 5.19, *a*), а при необходимости – через косую черту приводится длина нормируемого участка (см. пример на рис. 5.19, *б*).

Если допуск (база) относится к оси или плоскости симметрии, то соединительная линия, проведенная от рамки, должна быть продолжением размерной линии соответствующего элемента (рис. 5.20, а). *Примечание.* Если размер элемента уже указан, размерная линия должна быть без размера и ее рассматривают как составную часть условного обозначения допуска.

Если допуск (база) относится к поверхности (профилю), то соединительная линия не должна совпадать с размерной (рис. 5.20, б).

Таблица 5.1

Условное обозначение допусков формы, расположения, суммарных допусков формы и расположения поверхностей

Группа допусков	Допуск	Условный знак допуска ГОСТ 2.308
Допуски формы	Допуск прямолинейности Допуск плоскостности Допуск круглости Допуск цилиндричности Допуск профиля продольного сечения	
Допуски расположения	Допуск параллельности Допуск перпендикулярности Допуск наклона Допуск соосности Позиционный допуск Допуск симметричности Допуск пересечения осей	
Суммарные допуски формы и расположения поверхностей	Допуск радиального биения Допуск торцевого биения Допуск биения в заданном направлении Допуск полного радиального биения Допуск полного торцевого биения Допуск формы заданного профиля Допуск формы заданной поверхности	

База – элемент детали (сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения или суммарный допуск формы и расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение.

Комплект баз – совокупность двух или трех баз, образующих систему координат, по отношению к которой задается допуск расположения или суммарный допуск формы и расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение.

Так как в качестве баз часто используют оси и плоскости симметрии, необходимо ввести понятия: общая ось и общая плоскость симметрии.

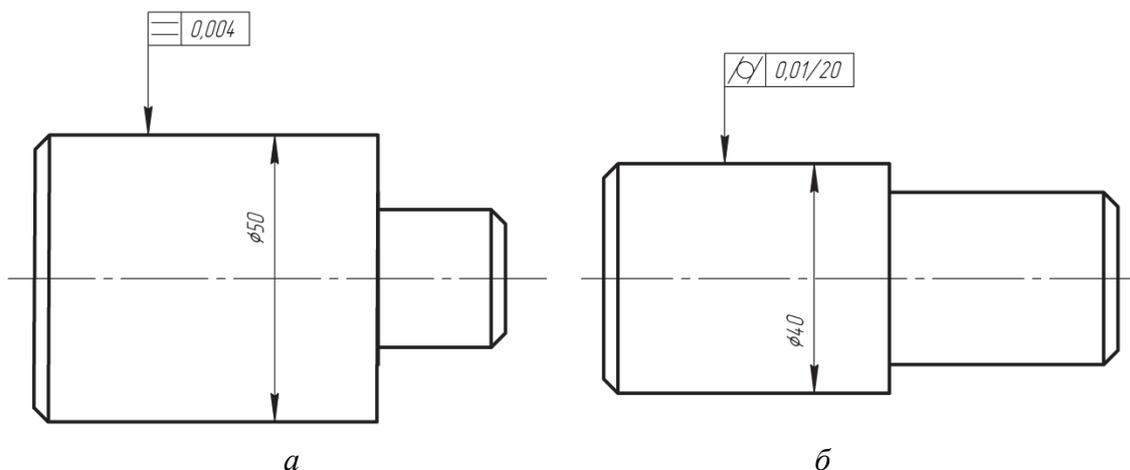


Рис. 5.19. Примеры обозначения допусков формы:

a – обозначение допуска профиля продольного сечения цилиндрической поверхности диаметром 50 мм, значение допуска 4 мкм; *б* – обозначение допуска цилиндричности для цилиндрической поверхности диаметром 40 мм, значение допуска – 10 мкм, длина нормируемого участка – 20 мм

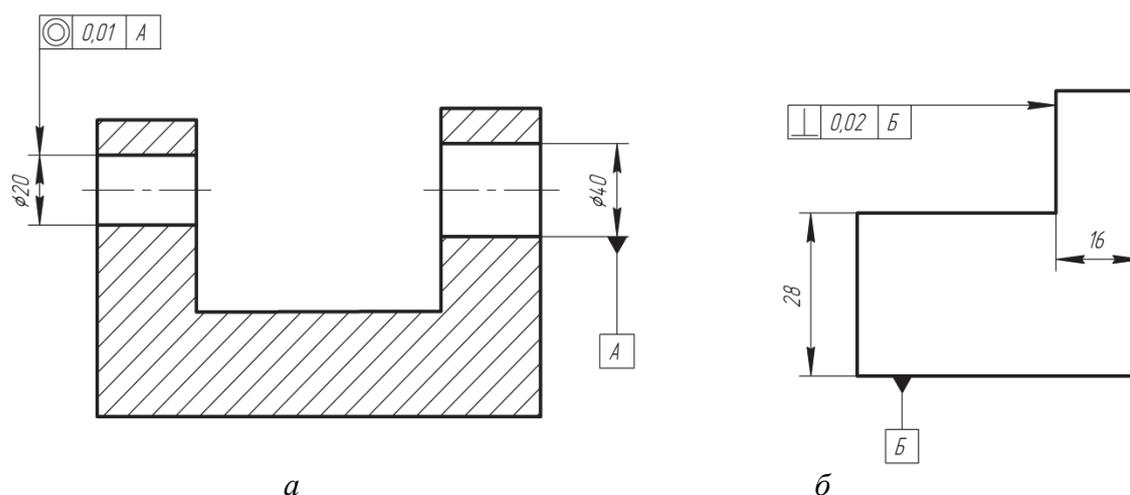


Рис. 5.20. Примеры обозначения допусков расположения:

a – обозначение допуска соосности цилиндрической поверхности диаметром 20 мм и диаметром 40 мм, значение допуска 10 мкм, в качестве базы принята ось отверстия 40 мм; *б* – обозначение допуска перпендикулярности для плоскости, ограничивающей выступ шириной 16 мм слева, значение допуска – 20 мкм, в качестве базы принята поверхность основания детали

Общая ось – прямая, относительно которой наибольшее отклонение осей нескольких рассматриваемых поверхностей вращения в пределах длины этих поверхностей имеет минимальное значение (пример обозначения общей оси – рис. 5.21).

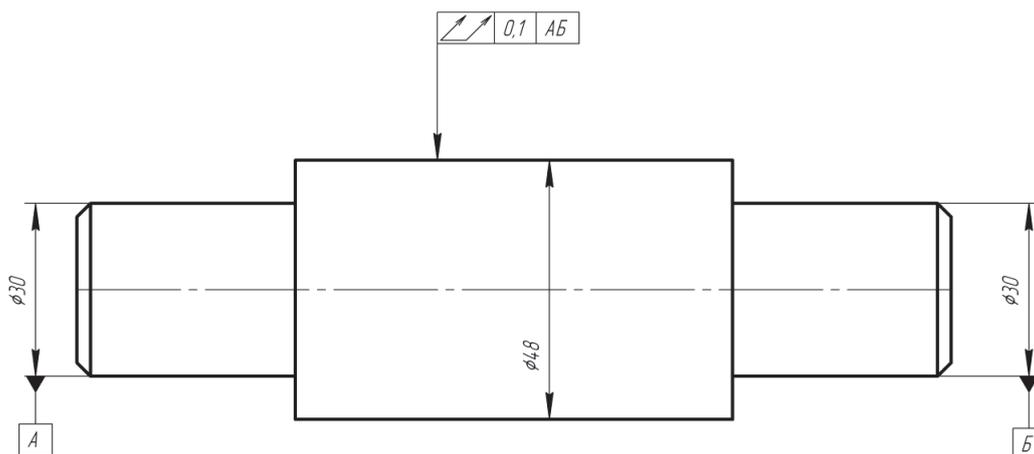


Рис. 5.21. Пример обозначения суммарного допуска: допуск полного торцевого биения цилиндрической поверхности диаметром 48 мм относительно общей оси цилиндрических поверхностей диаметром 30 мм, численное значение допуска – 100 мкм

При необходимости обозначения двух (и более) различных видов допусков формы (расположения) для одного и того же элемента рамки допусков можно объединять.

Базы обозначают зачерченным треугольником, который соединяется линией с рамкой допуска или рамкой, в которой указывают буквенное обозначение базы. Если нет необходимости выделять как базу ни один из элементов, то треугольник заменяется стрелкой.

В случае назначения зависимых допусков литера «M» может помещаться:

- после числового значения допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого элемента (пример на рис. 5.22, а);
- после буквенного обозначения базы или без буквенного обозначения базы в части рамки \mathcal{Z} (рис. 5.18), если зависимый допуск связан с действительными размерами базового элемента (пример на рис. 5.22, б);
- после числового значения допуска и буквенного обозначения базы (или без буквенного обозначения базы), если зависимый допуск связан с действительными размерами обоих элементов.

5.6. Волнистость и шероховатость поверхности.

Параметры шероховатости, их условные обозначения и нормирование

Реальная поверхность, полученная обработкой, в отличие от номинальной – геометрически правильной и гладкой, имеет сложный рельеф, характеризующийся как макро-, так и микрогеометрией. К макрогеомет-

рии реальной поверхности относят отклонения формы и расположения поверхностей, а также волнистость поверхностей.

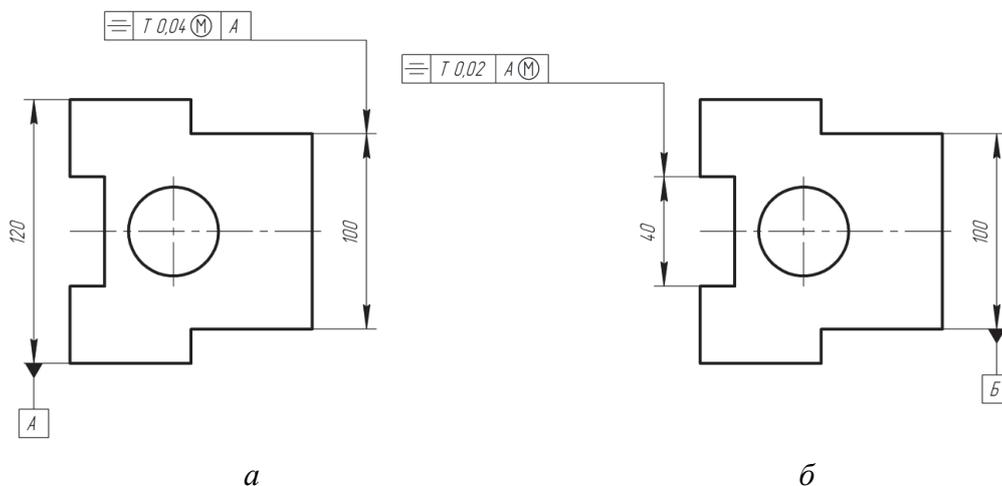


Рис. 5.22. Примеры обозначения зависимого допуска симметричности

Под **волнистостью** понимается совокупность периодически повторяющихся неровностей поверхности, которые образуются в процессе обработки, у которых отношения шага к высоте не превышает 40, а у деталей с круглым сечением – у которых шаг меньше 1/15 периметра окружности.

Волнистость рассматривается как часть отклонения формы поверхности и, как правило, ограничивается допуском формы. В особых случаях, когда волнистость оказывает влияние на функциональные свойства поверхности, она дополнительно ограничивается отдельным допуском. Нормируемые параметры, их числовые значения подробно изложены в РС 3951.

К микрогеометрии реальной поверхности детали относят шероховатость.

Шероховатость поверхности – совокупность чередующихся неровностей с относительно малыми шагами, выделенная на базовой длине.

Базовая длина l – длина участка поверхности, выделяемая для определения параметров шероховатости без учета других неровностей (волнистости, отклонений формы).

Согласно ГОСТ 2789, шероховатость поверхности изделий независимо от материала и способа изготовления можно нормировать одним или несколькими параметрами, определяемыми относительно средней линии профиля m (рис. 5.23). На профилограмме она (в пределах базовой длины l) проводится так, что площади, расположенные по обеим сторонам от этой линии до контура профиля, должны быть равны между собой.

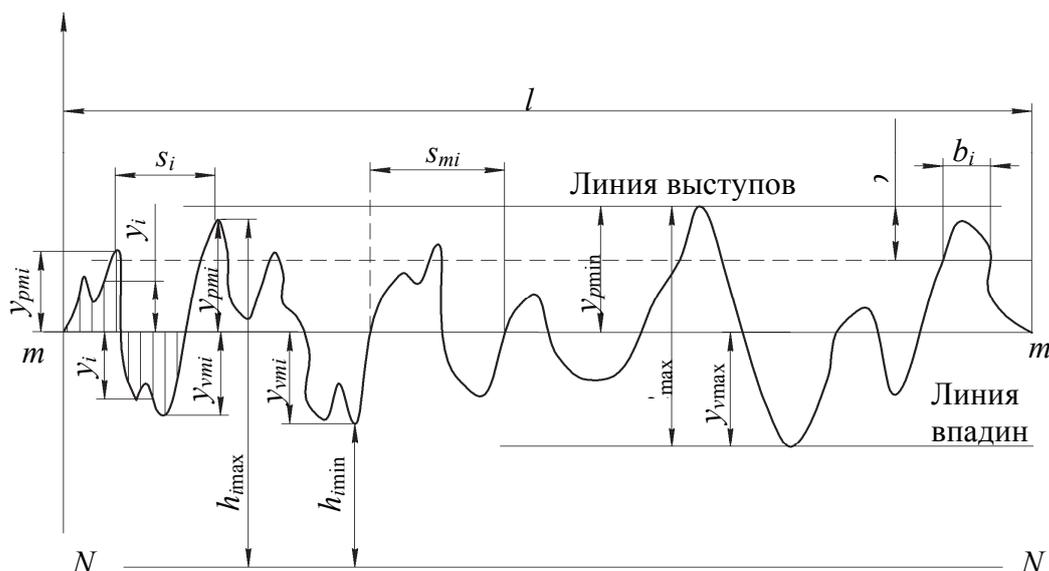


Рис. 5.23. Профиль шероховатости, его характеристики и параметры

Для количественной оценки шероховатости поверхности установлено шесть параметров.

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

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (5.3)$$

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z – сумма средних арифметических абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и пяти наибольших впадин в пределах базовой длины.

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{imax}| + \sum_{i=1}^5 |H_{imin}| \right). \quad (5.4)$$

Для средней линии, имеющей форму отрезка прямой, расположенной ниже профиля параллельно средней линии,

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |h_{imax}| - \sum_{i=1}^5 |h_{imin}| \right), \quad (5.5)$$

где h_{imax} и h_{imin} – соответственно расстояние пяти высших и пяти низших точек профиля до указанной линии.

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

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

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (5.6)$$

где S_{mi} – шаг неровностей, равный длине отрезка средней линии между точками пересечения ее с одноименными сторонами смежных неровностей.

Средний шаг неровностей профиля по вершинам S – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (5.7)$$

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

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} 100\%, \quad (5.8)$$

где b_i – значение отрезков, отсекаемых в пределах базовой длины на выступах профиля линией, эквидистантой средней линии и расположенной на заданном уровне сечения p от линии выступов; p – расстояние между линией выступов и заданным уровнем сечения профиля. Обычно уровень сечения задают в процентах от наибольшей высоты неровностей профиля R_{\max} .

Кроме количественных характеристик, ГОСТ 2789 предусматривает нормирование качественных характеристик: способ обработки; тип направления неровностей.

Способ обработки указывается, когда поверхность необходимо получить строго определенным способом. Тип направления неровностей (табл. 5.2) обозначается в случаях, когда это принципиально с точки зрения правильного функционирования детали или сопряжения, иногда – для придания красивого внешнего вида из эстетических соображений.

Числовые значения параметров шероховатости округляются до стандартных.

При выборе числовых значений параметров шероховатости кроме назначения и эксплуатационных свойств поверхностей деталей следует учитывать возможность обеспечения заданных требований рациональными методами обработки ([1], табл. 2.64–2.66).

**Тип направлений неровностей.
Условные обозначения**

№ п/п	Тип направлений неровностей	Схематическое изображение	Условное обозначение
1	Параллельное		$\sqrt{= Ra 2,5}$
2	Перпендикулярное		$\sqrt{\perp Ra 2,5}$
3	Перекрещивающееся		$\sqrt{\times Ra 2,5}$
4	Произвольное		$\sqrt{M Ra 2,5}$
5	Точечное		$\sqrt{M Ra 2,5}$
6	Кругообразное		$\sqrt{C Ra 2,5}$
7	Радиальное		$\sqrt{R Ra 2,5}$

При выборе конкретных значений параметров шероховатости следует помнить, что на них определенные ограничения накладывают допуски на размер и форму нормируемой поверхности. Это вызвано тем, что шероховатость поверхности в процессе сборки изделия или его эксплуатации может вызвать дополнительные отклонения размера и формы (например, при приработке трущихся поверхностей), поэтому установлены минимальные требования к шероховатости поверхности ([1], табл. 2.67). Максимальные значения параметра шероховатости R_a в зависимости от допуска размера и формы можно принять по следующим условиям:

$$R_a \leq 0,05T_p \quad (5.7)$$

при допуске формы 60% от допуска размера T_p ;

$$R_a \leq 0,025T_p \quad (5.8)$$

при допуске формы 40% от допуска размера T_p ;

$$R_a \leq 0,012T_p \quad (5.9)$$

при допуске формы 25% от допуска размера T_p .

Таким подходом целесообразно пользоваться, когда нет необходимости более жестко ограничивать параметры шероховатости исходя из функционального назначения поверхностей.

5.7. Обозначение параметров шероховатости на чертежах. Влияние шероховатости и волнистости поверхностей на качество машин и механизмов

В общем случае для обозначения шероховатости поверхности применяется знак, структура которого приведена на рис. 5.24. Если не указываются параметры шероховатости и способ обработки, его изображают без полки (рис. 5.25).

Поверхности детали, изготовляемой из материала определенного профиля и размера, не подлежащие по данному чертежу дополнительной обработке, обозначаются знаком, изображенным на рис. 5.25, в.

Значение параметров шероховатости указывают в ее обозначении под полкой знака после соответствующего символа, например: $R_a0,5$, R_z32 , $S0,32$, $t_{50}70$. В обозначениях указаны наибольшие допустимые значения параметров шероховатости (R_a , R_z , мкм; S , мм; t , %).

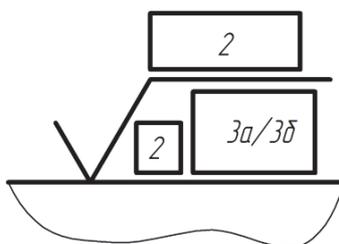


Рис. 5.24. Структура знака для обозначения шероховатости поверхности:

- 1 – способ обработки поверхности и (или) другие указания;
- 2 – условное обозначение направления неровностей (табл. 5.1);
- 3а – базовая длина по ГОСТ 2789;
- 3б – параметр (параметры) шероховатости по ГОСТ 2789

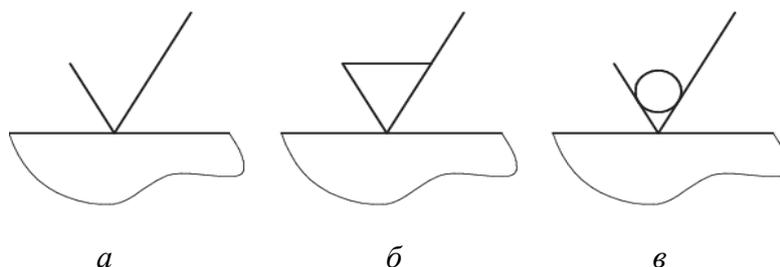


Рис. 5.25. Знаки, применяемые для обозначения параметров шероховатости:
а – способ обработки поверхности конструктором не установлен; б – поверхность должна быть образована только удалением слоя материала; в – поверхность должна быть образована без удаления слоя материала

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений (рис. 5.26, а).

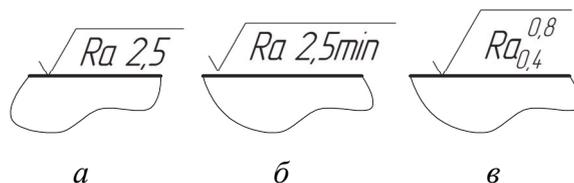


Рис. 5.26. Примеры обозначения параметров шероховатости

При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «min» (рис. 5.26, б).

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки (рис. 5.26, в).

Если необходимо обозначить несколько параметров шероховатости поверхности, значения параметров записывают сверху вниз в таком порядке (рис. 5.27):

- параметр высоты неровностей профиля;
- параметр шага неровностей профиля;
- относительная опорная длина профиля.

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

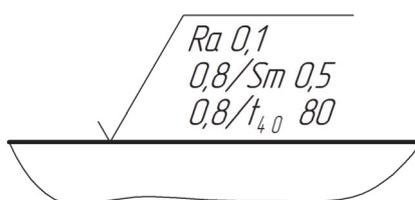


Рис. 5.27. Пример обозначения нескольких параметров шероховатости для одной поверхности: среднеарифметическое отклонение неровностей 0,1 мкм, средний шаг неровностей 0,5 мм в пределах базовой длины 0,8 мм, относительная опорная длина 80% на уровне профиля 40% от R_{\max}

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости размещают в правом верхнем углу чертежа (рис. 5.28, а).

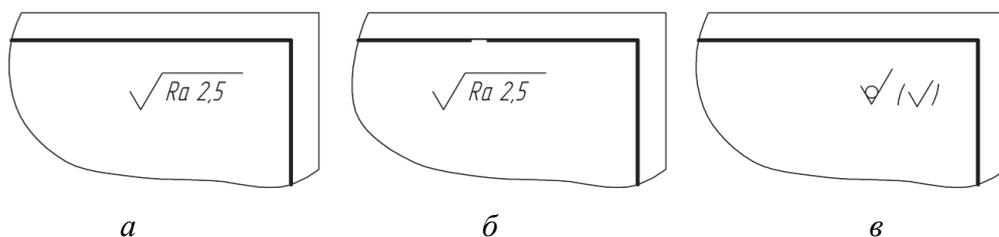


Рис. 5.28. Примеры обозначения параметров шероховатости:
a – для всех поверхностей изделия; *б, в* – части поверхностей изделия

Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа (рис. 5.28, *б*, рис. 5.28, *в*) вместе с условным обозначением, приведенным на рис. 5.25, *a* (знак заключают в скобки). Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости или знак, изображенный на рис. 5.25, *в*, должны иметь указанную шероховатость.

Шероховатость поверхности в сочетании с физическими свойствами поверхностного слоя материала детали определяет состояние поверхности и является наряду с точностью формы одной из основных геометрических характеристик ее качества. Например, большую роль шероховатость поверхности играет в подвижных соединениях, когда трущиеся поверхности деталей разделены слоем смазки и непосредственно не контактируют.

При недостаточно гладких трущихся поверхностях соприкосновение между ними происходит в отдельных точках при повышенном давлении, вследствие чего смазка выдавливается, нарушается непрерывность масляной пленки и создаются условия для полусухого и даже сухого трения. При слишком гладких поверхностях снижается интенсивность увлечения смазки подвижной поверхностью, в результате снижается гидродинамическое давление, что также может привести к аналогичному эффекту. Эти обстоятельства особенно важны для подшипников современных быстроходных и точных машин и приборов, в которых нельзя допустить больших зазоров и жидкостное трение должно быть обеспечено при весьма тонких масляных пленках.

Уменьшение шероховатости поверхности изменяет характер соединения деталей. Зазор или натяг, которые можно определить по результатам измерения деталей соединения, отличаются от эффективных зазора или натяга, имеющих место при сборке и в процессе эксплуатации. Эффективный натяг уменьшается, а эффективный зазор увеличивается тем в большей степени, чем большую шероховатость имеют сопрягаемые поверхности.

Чистовая обработка деталей (доводка, полирование и др.) значительно повышает их усталостную прочность вследствие уменьшения микронеровностей на поверхности, что приводит к существенному увеличению антикоррозионной стойкости деталей.

Шероховатость поверхности связана также и с рядом других важных функциональных показателей изделий, таких как плотность и герметичность соединений, отражательная способность поверхности, контактная жесткость, прочность сцепления при притирании и склеивании, качество гальванических покрытий. Она влияет также на точность измерения деталей. Во многих случаях ее необходимо нормировать для придания красивого внешнего вида, для удобства содержания поверхностей в чистоте и т. д.

6. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ

ЛЕКЦИЯ 8

Понятие о погрешностях обработки и их видах. Систематические и случайные погрешности. Законы распределения случайных погрешностей. Закон нормального распределения погрешностей при механической обработке. Установление связей между величиной допуска и диапазоном рассеяния погрешностей размеров в партии.

6.1. Понятие о погрешностях обработки и их видах. Систематические и случайные погрешности

Качество машин и в первую очередь их надежность и долговечность зависят в значительной мере от точности обработки деталей при их изготовлении и восстановлении в процессе ремонта.

Точность обработки – это степень соответствия действительных геометрических размеров параметрам, заданным чертежом. Точность обработки характеризуется погрешностью обработки.

Погрешность обработки – отклонения действительных параметров от заданных.

Факторов, влияющих на погрешность обработки, много, поэтому их целесообразно сгруппировать по причинам их возникновения:

– **неточности станка** (погрешность обработки может быть вызвана биением шпинделя, непрямолинейностью направляющих станины, суппорта, рабочего стола, непараллельностью и неперпендикулярностью перемещений суппорта оси шпинделя, несовпадением центров передней и задней бабок, зазорами в сопряжениях);

– **неточности приспособления** (неточности элементов, предназначенных для установки обрабатываемой детали, неточности поверхностей корпуса приспособления, размещаемого на станке, неточности элементов, определяющих положение инструмента);

– **неточности режущего инструмента** (для всех режущих инструментов наиболее существенны погрешности, возникающие в результате износа режущей части, т. е. размерный износ инструмента);

– **неточности детали или заготовки** (деталь, поступающая на какую-либо операцию, имеет погрешности обработки, возникшие при выполнении предшествующих операций);

– **деформации станка, приспособления, инструмента** (упругие деформации, возникающие под действием сил резания в станке, приспособлении, инструменте);

– **деформация детали** (деформации при обработке нежестких деталей: длинных валов, тонкостенных цилиндров, колец и т. п.);

– **температурные деформации** (в процессе механической обработки температура отдельных частей станка, приспособления, инструмента, детали изменяется неодинаково. Кроме того, материалы имеют различный коэффициент линейного расширения. В результате первоначальное взаимное положение поверхностей нарушается, что является причиной возникновения погрешностей обработки);

– **неточность установки инструмента на размер** (непосредственно на значение размера влияет неточность первоначальной установки режущего инструмента и при его замене);

– **неточности измерения размера** (неточности изготовления измерительного средства и неточности, допускаемые при измерениях, всегда являются одним из источников погрешностей обработки, так как о ее результатах мы судим по результатам измерений).

Все эти причины вызывают отклонения параметров детали, заданных чертежом. При обработке партии деталей каждая из причин, вызывающих неточности, изменяет свое воздействие при переходе от одной детали к другой неодинаково.

Чтобы оценить влияние каждого из перечисленных факторов в отдельности, применяют экспериментально-аналитический метод исследования, который достаточно сложен и требует много времени.

Статистический метод исследования менее сложен и трудоемок и позволяет оценивать влияние сразу всех факторов, действующих в исследуемой операции. На практике его применяют наиболее широко.

Таким образом при изготовлении партии однотипных деталей в одинаковых условиях действительные размеры, которые теоретически должны быть одинаковыми, фактически отличаются между собой, т. е. происходит рассеяние размеров. Причинами этого являются неизбежные погрешности изготовления и измерения как результат воздействия большого числа факторов, часто не поддающихся регулированию, поэтому при изготовлении крупных партий одинаковых деталей точность изготовления можно оценить при использовании положений теории вероятностей и математической статистики.

Погрешности могут быть **систематическими** и **случайными**.

Систематические погрешности постоянны по значению и знаку или закономерно изменяются при переходе от одной детали к другой в зависимости от характера неслучайных факторов. Источниками систематических погрешностей могут служить, например, непрямолинейность направляющих станка, неточности изготовления или на-

стройки измерительного инструмента и т. п. Значение и знак систематической погрешности можно заранее предусмотреть и учесть в тех случаях, когда ее невозможно устранить.

Случайные погрешности непостоянны по величине и знаку. Они возникают при изготовлении и измерении и принимают различные значения в зависимости от случайных факторов. Непостоянное число различных факторов и их неодинаковое влияние не подчиняются какой-либо видимой закономерности и приводят к тому, что невозможно заранее предвидеть значение и знак погрешности изготовления или измерения, т. е. погрешность есть случайная величина. Источниками случайных погрешностей могут быть упругие деформации системы станок – приспособление – инструмент – деталь, неоднородность механических свойств материалов, размер припуска и т. п. Оценить их можно только при использовании методов теории вероятностей и математической статистики.

6.2. Законы распределения случайных погрешностей.

Закон нормального распределения погрешностей при механической обработке

Обязательное наличие погрешностей обработки или измерений приводит к рассеянию (разбросу) размеров в партии деталей или в результатах измерений.

При допущении грубых ошибок (ошибки в отсчете делений на лимбе, попадание стружки при установке детали при ее измерении и т. п.) возникают грубые погрешности. При обработке результатов измерений грубые погрешности исключаются.

Избежать погрешностей обработки и измерения нельзя, поэтому при изготовлении и восстановлении деталей отклонения геометрических параметров от заданных ограничивают, обеспечивая большую или меньшую точность обработки.

Точность отдельного размера определяется установленным допуском на обработку. Точность партии деталей может характеризоваться величинами, используемыми в математической статистике. **Основные статистические параметры рассеяния размеров:** диапазон рассеяния R , средний арифметический размер \bar{x} , среднее квадратическое отклонение σ .

Диапазон рассеяния размеров R – разность между наибольшим и наименьшим размерами в партии:

$$R = x_{\max} - x_{\min},$$

где x_{\max} и x_{\min} – наибольший и наименьший размеры.

Средний арифметический размер \bar{x} – это сумма действительных размеров, деленная на их число:

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_N) / N,$$

где x_1, x_2, \dots, x_N – действительные размеры деталей; N – число действительных размеров.

Средний арифметический размер определяет положение центра группирования размеров на кривой распределения. Диапазон рассеяния размеров характеризует только разброс размеров около центра группирования. Для анализа же точности обработки или измерения необходимо знать также характер рассеяния размеров внутри диапазона рассеяния.

Среднее квадратическое отклонение σ – один из основных параметров, характеризующих рассеяние размеров:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}.$$

При числе размеров свыше 25 с достаточной достоверностью можно определить среднее квадратическое отклонение по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}.$$

Наглядное представление о характере рассеяния дают так называемые кривые распределения, которые в зависимости от способа построения делятся на гистограммы распределения, эмпирические кривые (или полигоны распределения) и теоретические кривые распределения (рис. 6.1).

При построении кривых распределения по оси абсцисс откладывают или сам размер x_i , или размеры групп, либо его отклонения Δx_i от среднего арифметического размера \bar{x} . По оси ординат для построения гистограмм и полигонов распределения откладывают относительную частоту:

$$\omega = n_{xi} / N,$$

где n_{xi} – частота, или число размеров, попадающих в один и тот же интервал; N – общее число размеров.

При построении теоретической кривой распределения по оси ординат откладывают плотность вероятности y случайной величины.

На гистограмме или полигоне рассеяния площадь в пределах интервала равна частоте или относительной частоте, а на теоретической кривой – вероятности появления размера в данном интервале.

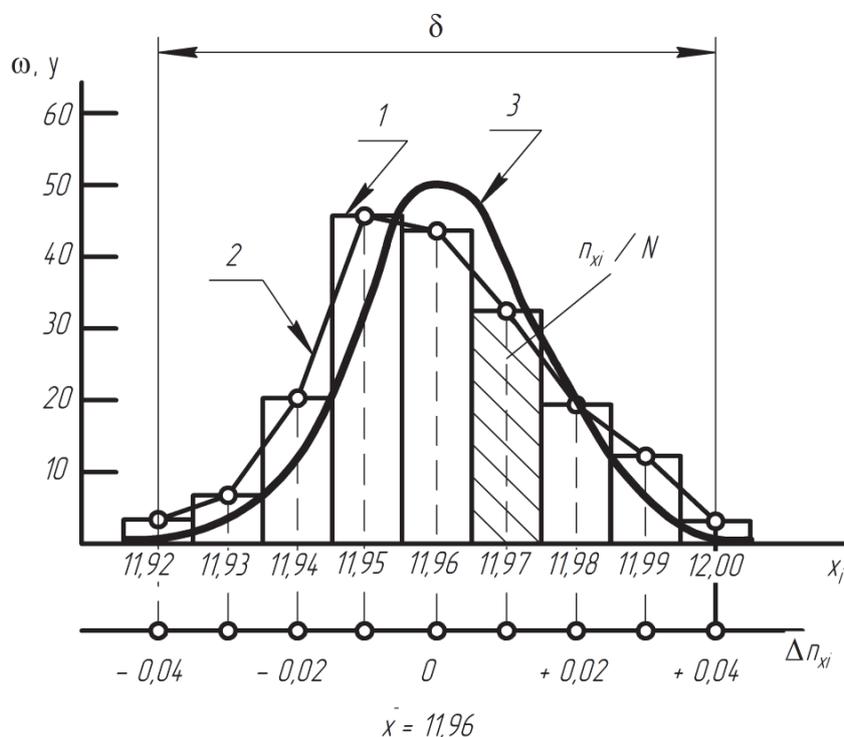


Рис. 6.1. Кривые распределения рассеяния размеров:
1 – гистограмма; 2 – полигон; 3 – теоретическая кривая распределения

Закон больших чисел гласит: с вероятностью, близкой к достоверности, можно утверждать, что при достаточно большом числе опытов частота наблюдаемого события может как угодно мало отличаться от его вероятности. Исходя из этого, при практических расчетах пользуются теоретическими кривыми распределения, полученными аппроксимацией гистограмм или эмпирических кривых распределения.

Для аппроксимации наиболее часто применяют следующие законы распределения: закон нормального распределения, или закон Гаусса; закон равной вероятности; закон равнобедренного треугольника, или закон Симпсона; закон эксцентриситета, или закон Максвелла.

Закон нормального распределения, или закон Гаусса:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}.$$

Этот наиболее распространенный закон распределения случайных величин имеет место, когда из большого числа факторов ни один не

является доминирующим, а каждый играет относительно малую роль в общей совокупности (рис. 6.2, а).

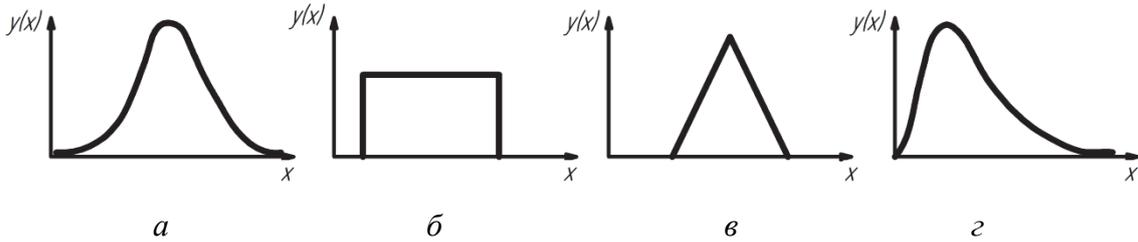


Рис. 6.2. Законы распределения случайных величин:
 а – закон нормального распределения; б – закон равной вероятности;
 в – закон равнобедренного треугольника; з – закон эксцентриситета

Закон равной вероятности:

$$y = \frac{1}{x_n - x_1} = \text{const}.$$

Он характерен для случайных величин, на которые влияет резко доминирующий фактор, равномерно изменяющийся в пространстве или во времени (рис. 6.2, б).

Закон равнобедренного треугольника, или закон Симпсона:

$$y = \begin{cases} \frac{4}{(x_n - x_1)^2} (x'_n - x_1) \\ \frac{4}{(x_n - x_1)^2} (x_n - x) \end{cases}$$

Этому закону подчиняются случайные величины, на которые влияют два резко доминирующих фактора (рис. 6.2, в).

Закон эксцентриситета, или закон Максвелла:

$$y = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{\sigma^2}},$$

где $r = \sqrt{x^2 - y^2}$.

Этому закону подчиняются величины, которые могут иметь только положительное значение, например эксцентриситет, несоосность, торцевое и радиальное биение, непараллельность или перпендикулярность двух плоскостей, оси и плоскости (рис. 6.2, з).

При аппроксимации распределения тот или другой закон выбирают как из общих соображений о законе распределения, так и ис-

ходя из формы изображений эмпирического распределения, которая может помочь в предварительном выборе теоретической кривой распределения.

Окончательное заключение о правильности выбора закона распределения, характеризующего рассеяние случайной величины, делают после определения соответствия экспериментальной и теоретической кривых распределения по одному из критериев согласия. (ГОСТ 11.006 «Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим»).

6.3. Установление связей между величиной допуска и диапазоном рассеяния погрешностей размеров в партии

Знание закона распределения случайной величины позволяет решать практические задачи, связанные с анализом точности обработки и измерения. На практике при механической обработке для характеристики распределения погрешностей чаще всего применяют закон нормального распределения.

Подробные исследования кривых распределения позволили установить, что если задать допуск $IT = \pm 0,36\sigma$, то вероятность годных деталей составит 35%, если задать $IT = \pm 0,76\sigma$, то вероятность годных деталей составит 50%, если задать $IT = \pm 3\sigma$, то вероятность годных деталей составит 99,73%, а вероятность выхода величины за его пределы будет равна 0,27% (27 случаев из 10 000), что является экономически целесообразным.

В связи с этим было принято отклонение случайной величины от среднего, $\pm 3\sigma$ ($IT = 6\sigma$), считать предельным. Эта величина ($IT = 6\sigma$) взята за основу при назначении допуска на обработку. Если $IT = 6\sigma$, то с вероятностью, близкой к единице, можно утверждать, что все 100% деталей должны быть годными.

При наличии систематических погрешностей кривые нормального распределения, не меняя своей формы, могут смещаться влево или вправо по оси X на величину a (на уменьшение или увеличение размера). В этом случае $IT = 6\sigma + a$.

Проанализировав распределение случайных погрешностей, можно сделать следующие выводы:

- малые погрешности встречаются чаще, чем большие;
- отрицательные и положительные погрешности, равные по величине (по модулю), встречаются одинаково часто;
- для каждого метода обработки и измерения есть предел допуска, после которого погрешности практически не встречаются.

7. ХАРАКТЕРИСТИКА, РАСЧЕТ И ВЫБОР ПОСАДОК

ЛЕКЦИЯ 9

Характеристика, назначение и выбор переходных посадок. Методика определения вероятных зазоров и натягов в партии сопряжений и их процентное соотношение.

Методы выбора посадок.

При выборе посадок для подвижных и неподвижных соединений руководствуются двумя основными методами: методом аналогов и расчетным методом.

Метод аналогов – метод, при котором посадка для проектируемого соединения выбирается по аналогии с посадкой в уже известном надежно работающем соединении.

Расчетный метод – метод, при котором посадки рассчитываются на основании полуэмпирических зависимостей.

Часто используют комплексный метод, учитывающий достоинства каждого из вышеназванных методов.

7.1. Характеристика, назначение и выбор переходных посадок

Переходные посадки, как правило, используют в неподвижных разъемных соединениях с дополнительным креплением, когда требуется высокая точность центрирования деталей.

Это связано с тем, что для них характерна возможность получения как натягов, так и зазоров, и при этом получающиеся натяги в переходных посадках малы и не требуют проверки деталей на прочность, за исключением отдельных тонкостенных деталей. Натяги в переходных посадках не позволяют передавать значительные усилия или крутящие моменты, но в некоторых случаях, например, когда нагрузки малы, при значительной длине соединения, эти посадки применяют без дополнительного крепления. Зазоры, получающиеся в переходных посадках, также относительно малы, что предотвращает значительное смещение соединяемых деталей.

Выбор переходных посадок зависит от необходимой точности центрирования и легкости сборки и разборки соединения и чаще всего производится по аналогии с известными соединениями.

Расчеты при выборе переходных посадок выполняются проверочные: расчет вероятности получения зазоров и натягов в соединении; расчет на наибольший зазор выбранной переходной посадки для ограничения биения насаживаемой детали и снижения динамических на-

грузок в реверсивной передаче; расчет прочности для тонкостенных деталей при наибольшем натяге выбранной переходной посадки.

Посадки H/js ; JS/h – «плотные». Для этих посадок более вероятно получение зазора, но возможны и небольшие натяги. Достоинством применения данных посадок является легкость сборки соединяемых деталей.

Посадки H/k ; K/h – «напряженные». Вероятности получения натягов и зазоров в соединении примерно одинаковые. Небольшой натяг, получающийся в большинстве соединений, достаточен для центрирования деталей.

Посадки H/m ; M/h – «тугие». Вероятность получения натягов более 60%. Зазоры практически не ощущаются за счет отклонений формы. Тугие посадки применяются для неподвижных соединений деталей на быстровращающихся валах с дополнительным креплением.

Посадки H/n ; N/h – «глухие». В этих посадках преобладают натяги, вероятность получения зазора, как правило, не превышает 10%. Являются наиболее прочными из переходных посадок. Для сборки и разборки деталей требуется применение специального оборудования: прессы, съемники и т. д.

7.2. Методика определения вероятных зазоров и натягов в партии сопряжений и их процентное соотношение

При расчете вероятности получения зазоров и натягов обычно исходят из нормального распределения размеров деталей при изготовлении. В этом случае распределение зазоров и натягов будет также подчиняться нормальному закону (рис. 7.1), а вероятности их получения определяют с помощью интегральной функции вероятности Лапласа $\Phi(z)$.

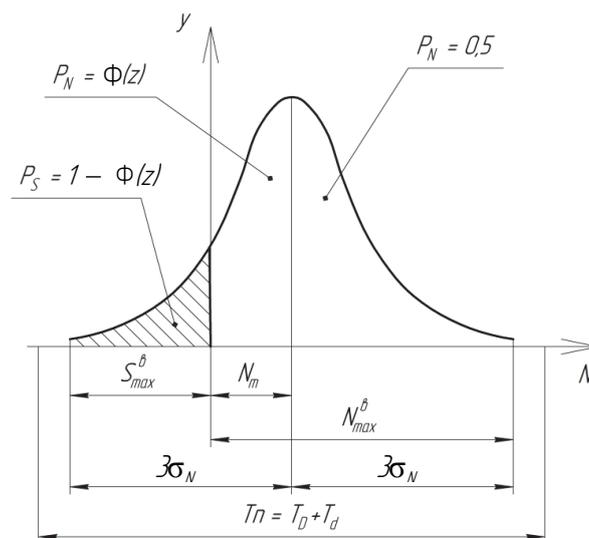


Рис. 7.1. Схема к расчету вероятности получения зазоров и натягов

Для выбранной переходной посадки необходимо определить размерные параметры отдельных деталей и значения среднего натяга (зазора).

Находим среднее квадратичное отклонение натяга (зазора):

$$\sigma_N = \frac{1}{6} \sqrt{T_D^2 + T_d^2} \quad (\sigma_S = \frac{1}{6} \sqrt{T_D^2 + T_d^2}). \quad (7.1)$$

Рассчитываем предел интегрирования по зависимости

$$z = \frac{N_m}{\sigma_N} \quad (z = \frac{S_m}{\sigma_S}). \quad (7.2)$$

По найденному значению z определяем функцию $\Phi(z)$.

Рассчитываем вероятность получения натягов (процент натягов) и вероятность получения зазоров (процент зазоров) по зависимостям:

$$P_{N(S)} = 0,5 + \Phi(z), \text{ если } z > 0;$$

$$P_{N(S)} = 0,5 - \Phi(z), \text{ если } z < 0; \quad (7.3)$$

$$P_{S(N)} = 1 - P_{N(S)},$$

где P_N, P_S – вероятности получения натяга и зазора соответственно.

Определяем максимальный вероятный натяг N_{\max}^B и зазор S_{\max}^B по следующим зависимостям:

$$N_{\max}^B = 3\sigma_N + N_m \quad (S_{\max}^B = 3\sigma_S + S_m);$$

$$S_{\max}^B = 3\sigma_N - N_m \quad (N_{\max}^B = 3\sigma_S - S_m). \quad (7.4)$$

При необходимости ограничения биения (например, для зубчатых колес необходимо ограничивать биение зубчатого венца) проверяем выполнение следующего условия:

$$S_{\max}^B \leq [S_{\max}], \quad (7.5)$$

где $[S_{\max}]$ – наибольший допускаемый зазор:

$$[S_{\max}] = \frac{\Delta}{K_T}, \quad (7.6)$$

где Δ – допускаемое радиальное биение втулки на валу, возникающее при зазоре и одностороннем смещении вала в отверстии; K_T – коэффициент запаса точности, учитывающий погрешности формы и расположения поверхностей сопрягаемых деталей, смятие неровностей, износ поверхностей при сборках и разборках соединения.

ЛЕКЦИЯ 10

Характеристика, расчет и выбор посадок с зазором. Характеристика, расчет и выбор посадок с натягом.

7.3. Характеристика, расчет и выбор посадок с зазором

Посадки с зазором используют для подвижных и неподвижных соединений. В подвижных соединениях посадки должны обеспечивать гарантированный зазор, позволяющий реализовать взаимное перемещение сопрягаемых деталей, а также он необходим для размещения слоя смазки с учетом конкретных условий силовых и кинематических параметров работы сопряжения, теплового режима, требований к точности параметров геометрической формы, расположения и шероховатости поверхностей.

Для ответственных поверхностей, работающих в условиях жидкостного трения, посадки назначаются на основании расчетных методов.

Для сопряжений, находящихся в условиях полужидкостного, полусухого и сухого трения, посадки выбирают методом аналогов.

Выбор посадки для неподвижного соединения проводят так, чтобы наименьший зазор обеспечивал свободную сборку деталей и учитывал компенсацию допусков формы и расположения. Наибольший зазор в таких посадках рассчитывают из допусков эксцентриситета для цилиндрических деталей или из допусков смещения осей для плоских деталей.

Область применения некоторых посадок с зазором.

Посадки H/h . Применяются во всем диапазоне точностей сопрягаемых размеров. Обеспечивают высокую степень центрирования соединяемых деталей, в квалитетах 8–12 частично заменяют отсутствующие в них переходные посадки. Посадки применяют для соединения медленно перемещающихся деталей.

Посадки H/g , G/h . Применяются для изготовления деталей высокой точности. Характеризуются минимальными зазорами. Применяются в точных соединениях, где необходимо обеспечить высокую степень плавности хода.

Посадки H/f , F/h . Характеризуются умеренным гарантированным зазором. Чаще применяются для опор скольжения при небольших скоростях вращения до 150 с^{-1} .

Посадки H/e , E/h . Характеризуются значительным гарантированным зазором. Применяются при высоких скоростях вращения при значительных нагрузках.

Посадки H/d , D/h . Характеризуются большим гарантированным зазором. Позволяют компенсировать значительные отклонения формы и расположения сопрягаемых поверхностей.

Расчет и выбор посадки с зазором для подшипника скольжения. Подшипники скольжения являются наиболее распространенным типом ответственных подвижных соединений, среди которых чаще встречаются гидродинамические подшипники (рис. 7.2, а).

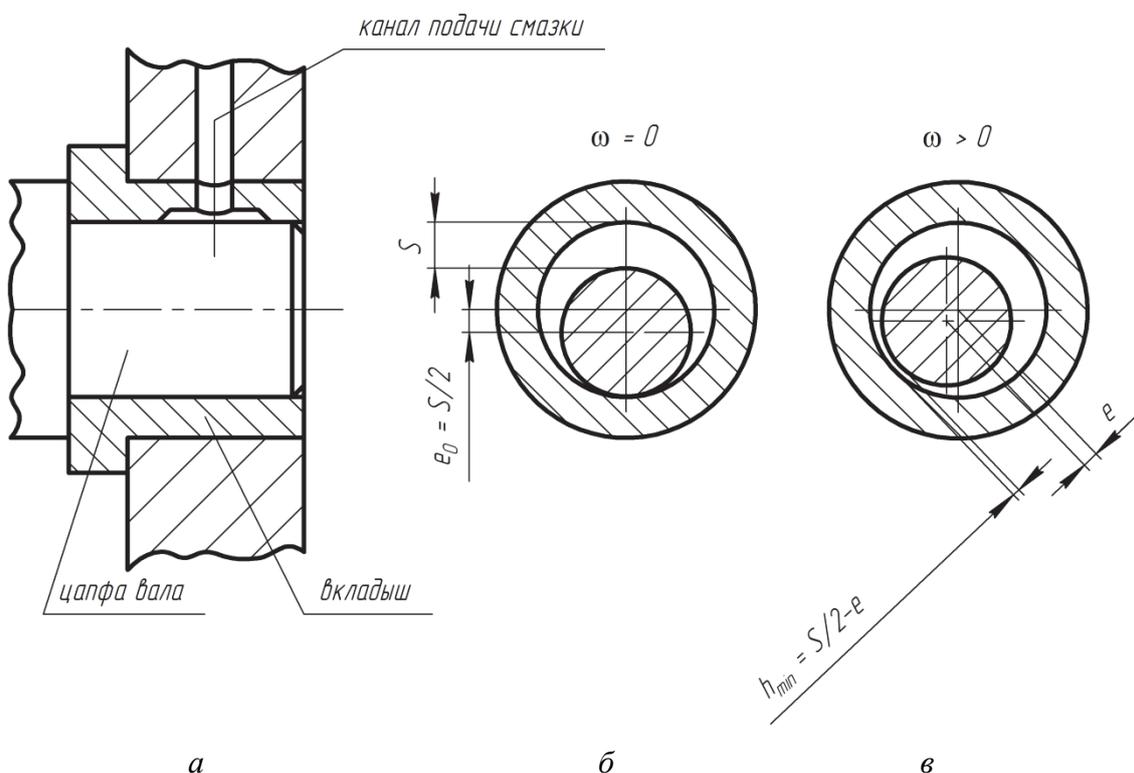


Рис. 7.2. Гидродинамический подшипник скольжения

При неподвижном вале абсолютный эксцентриситет равен $e = S/2$ (рис. 7.2, б). После того, как вал придет в движение, смазочный материал увлекается вращающейся цапфой в постепенно сужающийся зазор, находящийся между цапфой и вкладышем подшипника, что вызывает появление гидродинамического давления, превышающего нагрузку на опору, и вал отделяется от поверхности вкладыша и смещается по направлению вращения. В этом случае абсолютный эксцентриситет становится меньше на величину h_{\min} (рис. 7.2, в) и положение вала относительно отверстия можно охарактеризовать относительным эксцентриситетом $\chi = 2e / S$.

Наименьшая толщина масляного слоя в месте наибольшего сближения цапфы вала и вкладыша будет определяться по следующей зависимости:

$$h_{\min} = 0,5S(1 - \chi). \quad (7.7)$$

При определении оптимального зазора в подшипнике пользуются зависимостью $h_{\min} = f(S)$, установленной Гюмбелем (рис. 7.3), из которой видно, что жидкостная смазка создается лишь в определенном диапазоне функциональных зазоров от S_{\min} до S_{\max} . Если после сборки диаметральный зазор ближе к S_{\min} или равен ему, то после приработки через некоторое время этот зазор достигнет некоторого оптимального значения $S_{\text{опт}}$. При дальнейшей работе машины зазор будет увеличиваться и при превышении S_{\max} условие (7.7) выполняться не будет, а узел, включающий данный подшипник, потребует ремонта.

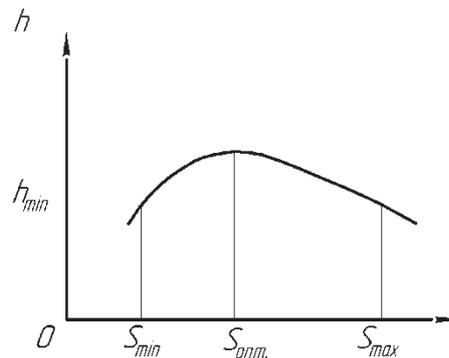


Рис. 7.3. Зависимость толщины масляного слоя в месте наибольшего сближения цапфы вала и вкладыша подшипника от зазора

Для обеспечения неразрывности масляного слоя должно выполняться следующее условие:

$$h_{\min} \geq k(R_{z1} + R_{z2} + \Delta), \quad (7.8)$$

где k — коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя; R_{z1} и R_{z2} — высота неровностей профиля сопрягаемых поверхностей, цапфы вала и вкладыша подшипника; Δ — поправка, учитывающая отклонения нагрузки, температуры, скорости вращения вала и другие неучтенные факторы, принимают $\Delta = 2$ мкм.

При необходимости также вводят поправки, учитывающие влияние погрешности формы и расположения поверхностей цапфы вала и вкладыша, изгиба вала, отклонения нагрузки, температуры, скорости вращения вала и другие неучтенные факторы.

Несущая способность масляного слоя в подшипнике определяется на основании гидродинамической теории смазки по формуле

$$F_R \approx \frac{\mu\omega}{\psi^2} ldC_R, \quad (7.9)$$

где F_R – радиальная сила, действующая в опоре, Н; μ – динамическая вязкость смазочного материала, Па · с; ω – угловая скорость цапфы, с^{-1} ; l – длина подшипника, м; d – диаметр цапфы, м; C_R – коэффициент нагруженности подшипника (зависит от χ и l/d), ψ – относительный зазор, определяется как отношение зазора S к диаметру цапфы d .

Упрощенный метод расчета $S_{\text{опт}}$, основанный на определении относительного зазора ψ , определяется по эмпирической зависимости:

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{v}, \quad (7.10)$$

где v – окружная скорость цапфы, м/с, определяемая по выражению

$$v = \frac{\pi d n}{60 \cdot 1000}, \quad (7.11)$$

где n – частота вращения цапфы вала, мин^{-1} .

Далее определяется зазор, который принимается за оптимальный:

$$S = \psi d. \quad (7.12)$$

По зависимости (7.9) определяется коэффициент нагруженности подшипника, на основании которого и известного отношения l/d по справочным таблицам находят относительный эксцентриситет χ , далее по формуле (7.8) определяется минимальная толщина масляного слоя в месте наибольшего сближения цапфы вала и вкладыша для подшипника, работающего в заданных условиях.

После проверяется выполнение условия (7.7) для обеспечения неразрывности масляного слоя и рассчитывается действительный коэффициент запаса надежности по толщине масляного слоя:

$$k = \frac{h_{\min}}{R_{z1} + R_{z2} + \Delta}, \quad (7.13)$$

при этом обязательно

$$k > 2. \quad (7.14)$$

Посадку выбирают так, чтобы ее средний зазор был не более зазора, определенного по формуле (7.12).

7.4. Характеристика, расчет и выбор посадок с натягом

Посадки с натягом применяются чаще для неподвижных соединений деталей без дополнительного крепления. Неподвижность соединяемых деталей в этом случае достигается за счет сил трения на по-

верхности соединяемых деталей, вызванных упругими деформациями материала этих деталей.

Посадки с натягом характеризуются предельными натягами, от которых зависит прочность соединения и соединяемых деталей.

Область применения некоторых посадок с натягом. Посадки H/p ; P/h – «легкопрессовые». Характеризуются минимальным гарантированным натягом. Установлены в наиболее точных качествах (валы 4–6-го, отверстия 5–7-го качества). Применяются в таких случаях, когда крутящие моменты или осевые силы малы.

Посадки H/r , H/s , H/t , R/h , S/h , T/h – «прессовые средние». Характеризуются умеренными гарантированными натягами, обеспечивающими передачу нагрузок средней величины.

Посадки H/u , H/x , H/z , U/h – «прессовые тяжелые». Характеризуются большими гарантированными натягами. Нашли применение для соединений, на которые воздействуют тяжелые и динамические нагрузки.

Методика расчета. При выборе посадки с натягом должны выполняться два условия:

- при минимальном натяге должна быть обеспечена неподвижность соединяемых деталей при действии внешней нагрузки;
- при максимальном натяге должна быть обеспечена прочность соединяемых деталей, т. е. должны отсутствовать пластические деформации на сопрягаемых поверхностях.

В основу расчета положены выводы задачи Ляме. Расчетная схема приведена на рис. 7.4.

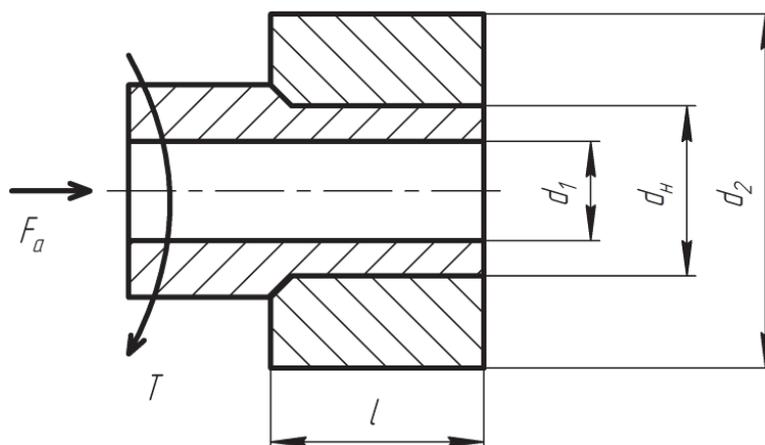


Рис. 7.4. Схема к расчету посадки с натягом

Величина минимального необходимого натяга, обеспечивающего неподвижность соединения:

$$N_{\min p} = P_{\min} d \left[\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right], \quad (7.15)$$

где E_D и E_d – модули упругости материалов втулки и вала; C_D и C_d – коэффициент Ляме для втулки и вала, которые определяются по зависимостям:

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d_{\text{н.с.}}}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_{\text{н.с.}}}{d_2} \right)^2} + \mu_D, \quad C_d = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d_{\text{н.с.}}} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d_{\text{н.с.}}} \right)^2} - \mu_d, \quad (7.16)$$

где μ_D и μ_d – коэффициенты Пуассона для втулки и вала соответственно.

Величину минимального удельного давления, возникающего на контактируемых поверхностях соединяемых деталей, необходимого для передачи заданной нагрузки, можно определить по одной из зависимостей:

– при действии осевой силы

$$p_{\min} = \frac{2F_a}{\pi d l f}; \quad (7.17)$$

– при действии вращающего момента

$$p_{\min} = \frac{2T}{\pi d^2 l f}; \quad (7.18)$$

– при совместном действии осевой силы и вращающего момента

$$p_{\min} = \frac{\sqrt{2F_a^2 + \left(\frac{2T}{d} \right)^2}}{\pi d l f}, \quad (7.19)$$

где F_a – осевая сила, Н; T – вращающий момент, Н · м; d – номинальный диаметр сопряжения, м; l – длина сопряжения, м; f – коэффициент трения.

Наименьший допустимый натяг с учетом уменьшения действительного натяга за счет смятия неровностей при запрессовке можно найти по формуле

$$[N_{\min}] = N_{\min p} + 1,2(R_{zD} + R_{zd}), \quad (7.20)$$

где R_{zD} , R_{zd} – высота неровностей профиля соответственно на соединяемых поверхностях втулки и вала, мкм (при необходимости учиты-

ваются поправки на температурные деформации, действие центробежных сил, увеличение контактного давления у торцов охватываемых деталей, действие вибраций и ударов).

Максимально допустимое удельное давление $[p_{\max}]$, при котором отсутствует пластическая деформация на контактных поверхностях вала и втулки, можно определить по следующим выражениям:

$$[p_{\max d}] = 0,58\sigma_{Td} \left[1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^2 \right]; [p_{\max D}] = 0,58\sigma_{TD} \left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right], \quad (7.21)$$

где σ_{Td} и σ_{TD} – пределы текучести (для хрупких материалов – предел прочности) при растяжении материала вала и втулки соответственно, МПа. В качестве $[p_{\max}]$ принимается наименьшее из двух значений и находится величина наибольшего расчетного натяга:

$$N_{\max \text{ расч.}} = [P_{\max}] \cdot d_{\text{н.с.}} \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right). \quad (7.22)$$

Наибольший допустимый натяг с учетом среза и смятия неровностей:

$$[N_{\max}] = N_{\max \text{ расч.}} + 1,2(R_{zD} + R_{zd}). \quad (7.23)$$

Выбирается стандартная посадка, удовлетворяющая условиям:

$$N_{\max} \leq [N_{\max}]; N_{\min} > [N_{\min}]. \quad (7.24)$$

Для выбранной посадки находят запасы прочности при сборке и эксплуатации соответственно по выражениям:

$$N_{3.е.} = [N_{\max}] - N_{\max T}, N_{3.е.} = N_{\min T} - [N_{\min}], \quad (7.25)$$

при этом должно выполняться следующее условие:

$$N_{3.е.} > N_{3.е.}. \quad (7.26)$$

Необходимое усилие для запрессовки деталей без применения термических методов сборки определяют по формуле

$$R_{\text{запр.}} = f_{\text{п}} p_{\max} \pi dl, \quad (7.27)$$

где $f_{\text{п}}$ – коэффициент трения при запрессовке ($f_{\text{п}} = (1,15 - 1,2)f$); p_{\max} – удельное давление при максимальном натяге:

$$p_{\max} = \frac{N_{\max T} - 1,2(R_{zD} + R_{zd})}{[N_{\min}]} \cdot p_{\min}. \quad (7.28)$$

8. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ. СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

ЛЕКЦИЯ 11

Классы точности подшипников качения и их выбор. Виды нагружения подшипников. Расчет посадок подшипников качения на вал и в корпус. Обозначение посадок подшипников на чертежах.

8.1. Классы точности подшипников качения и их выбор

Подшипники качения – стандартизированные сборочные единицы, изготавливаемые на специализированных заводах. Их качество определяется точностью присоединительных размеров; формы и взаимного расположения поверхностей колец подшипников и их шероховатостью; формы и размеров тел качения и шероховатостью их поверхностей; радиальным и осевым биениями дорожек качения и торцевых поверхностей колец.

Для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников установлены следующие классы точности в порядке ее повышения: 8, 7, нормальный, 6, 5, 4, Т, 2, а для роликовых конических подшипников – 8, 7, 0, нормальный, 6Х, 6, 5, 4, 2.

В зависимости от наличия требований к уровню вибрации или уровню других дополнительных технических требований установлены три категории подшипников: А (подшипники классов точности 5, 4, Т, 2), В (0, нормального, 6Х, 6, 5), С (8, 7, 0, нормального, 6). Подробнее о классах и категориях подшипников качения см. в справочнике [2], с. 317–319.

Подшипники классов точности 6, 5, 4 и 2 используют в станкостроении, приборостроении. В автотракторном машиностроении, сельскохозяйственных и гидромелиоративных машинах применяют подшипники 0 класса точности. Выбор подшипников осуществляют в зависимости от вида нагружения и посадочного диаметра на вал.

8.2. Виды нагружения подшипников

Различают три вида нагружения колец подшипников: местный, циркуляционный и колебательный. При местном виде нагружения кольцо воспринимает постоянную по величине и направлению радиальную нагрузку одним и тем же ограниченным участком дорожки качения, т. е. кольцо неподвижно относительно нагрузки. При цирку-

ляционном виде нагружения на кольцо действует радиальная нагрузка последовательно на всех участках дорожки качения, т. е. кольцо вращается относительно нагрузки. При колебательном виде нагружения кольцо воспринимает равнодействующую двух радиальных нагрузок ограниченным участком дорожек качения, причем одна из составляющих постоянная по направлению, а вторая (меньшая по величине) изменяет направление.

Например, если вращается внутреннее кольцо подшипника вместе с валом (осью) относительно постоянной по направлению радиальной нагрузки, а внешнее кольцо неподвижно (рис. 8.1, а), то внутреннее кольцо испытывает циркуляционный вид нагружения (эпюра нагружения (рис. 8.1, б)), а наружное – местный (рис. 8.1, в).

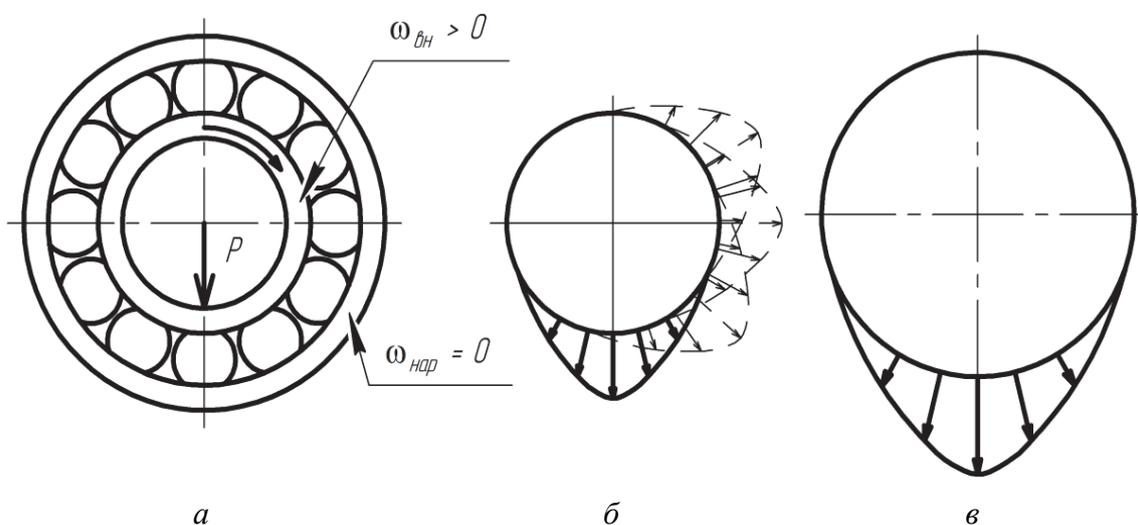


Рис. 8.1. Схема нагружения подшипника (а) и эпюры циркуляционно нагруженного кольца (б) и эпюра местно нагруженного кольца (в)

Если к постоянной по направлению нагрузке добавляется вращающаяся составляющая $P_{вн}$ (рис. 8.2, а), то в этом случае внутреннее кольцо испытывает циркуляционное нагружение (рис. 8.2, б), а наружное – колебательное (рис. 8.2, в). Кольца, испытывающие циркуляционный вид нагружения, должны иметь неподвижное соединение. Кольца, испытывающие местный или колебательный виды нагружения, должны иметь соединения с зазором или натягом. Неподвижная посадка обеспечивает равномерный износ циркуляционно нагруженного кольца. Зазор у местно нагруженного кольца позволяет ему под действием толчков проворачиваться по посадочной поверхности, в результате чего у кольца попеременно нагружаются разные участки и износ становится более равномерным.

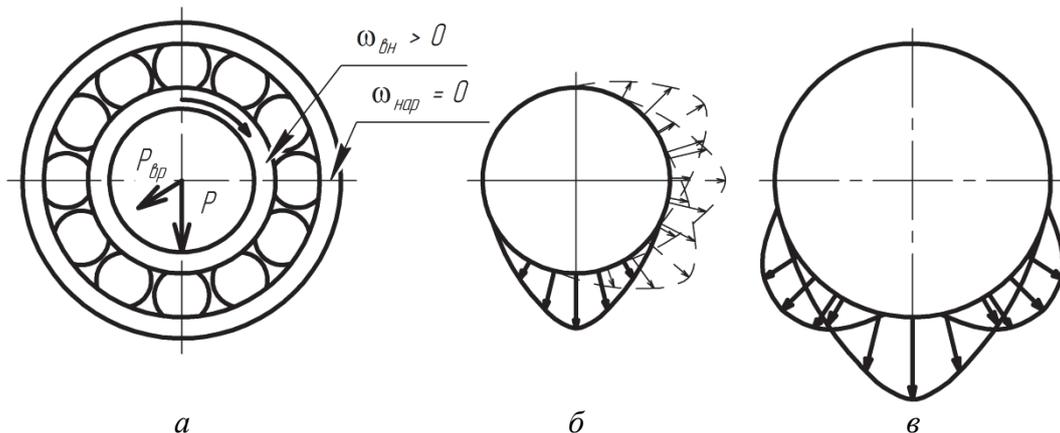


Рис. 8.2. Схема нагружения подшипника (а), эпюры циркуляционно нагруженного кольца (б) и колебательно нагруженного кольца (в)

8.3. Расчет посадок подшипников качения на вал и в корпус

Посадку подшипника на вал и в корпус выбирают в зависимости от типа и размера подшипника, условий его эксплуатации, значения и характера действующих на него нагрузок и вида нагружения колец по рекомендациям, приведенным в справочной литературе.

Для циркуляционно нагруженных колец посадку можно выбрать более определенно по интенсивности радиальной нагрузки на посадочную поверхность (P_R). Интенсивность нагрузки

$$P_R = \frac{R}{b} K_n F F_A, \quad (8.1)$$

где R – радиальная реакция опоры на подшипник, кН; b – рабочая ширина посадочного места, м,

$$b = B - 2r; \quad (8.2)$$

K_n – динамический коэффициент посадки, зависящий от характера нагрузки; F – коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга при полом вале или тонкостенном корпусе; F_A – коэффициент неравномерного распределения радиальной нагрузки между рядами тел качения.

8.4. Обозначение посадок подшипников на чертежах

С целью сокращения номенклатуры подшипники качения изготавливают с отклонениями размеров внутреннего и наружного диаметров, не зависящих от посадок, по которым их будут монтировать. Для всех классов точности верхнее отклонение присоединительных

диаметров принято равным нулю. Диаметр наружного кольца принят за диаметр основного вала (обозначение поля допуска: $l0$, $l6$, $l5$, $l4$, $l2$), а диаметр внутреннего кольца – за диаметр основного отверстия (обозначение полей допусков: $L0$, $L6$, $L5$, $L4$, $L2$), где цифры – класс точности подшипника. Таким образом, посадку наружного кольца с корпусом назначают в системе вала, а посадку внутреннего кольца с валом – в системе отверстия (рис. 8.3).

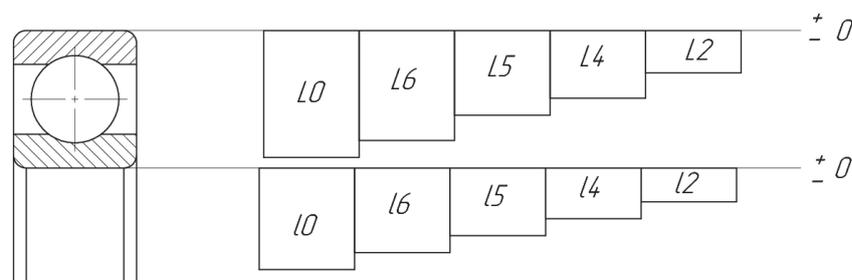


Рис. 8.3. Схема расположения полей допусков на присоединительные размеры подшипников качения различных классов точности

Это обстоятельство позволяет применять при соединении подшипников качения стандартные поля допусков на размеры сопрягаемых поверхностей, не прибегая к специальным посадкам. Поля допусков отверстий корпусов и поля допусков валов, соединяемых с кольцами подшипников, выбирают в зависимости от характера требуемого соединения.

Посадки колец подшипников обозначаются на чертежах по схеме, аналогичной обычным соединениям: $90H7/l0$ для наружного кольца и $40L0/k6$ – для внутреннего кольца

Наряду с обычным обозначением посадок допускается на сборочных чертежах подшипниковых узлов указывать размер, поле допуска или предельные отклонения на диаметр сопряженной с подшипником детали, например, $90H7$, $40k6$.

9. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ И ГЛАДКИХ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

ЛЕКЦИЯ 12

Допуски на угловые размеры. Взаимозаменяемость гладких конических соединений.

В современном машиностроении достаточно часто поверхности деталей располагаются под некоторым углом друг к другу, отличным от прямого, при этом должна быть обеспечена требуемая точность. В этой связи возникает необходимость назначать угловые размеры с соответствующими допусками.

Основные нормы взаимозаменяемости в этой области регламентируются ГОСТ 8908, ГОСТ 8593 и ГОСТ 25548.

На практике угловые элементы деталей условно разделяют на две группы:

- элементы с углами общего назначения (конструктивные наклонные поверхности с произвольными уклонами, скосы, фаски и др.);
- элементы со специальными углами, размеры которых связаны расчетными зависимостями с другими линейными, угловыми размерами (обуславливаются специфическими эксплуатационными или технологическими требованиями).

Для ограничения номенклатуры углов первой группы ГОСТ 8908 устанавливает три ряда нормальных углов, причем каждый последующий ряд не включает предыдущие.

Допуски углов призматических элементов с длиной меньшей стороны до 2500 мм, а также допуски углов конусов с длиной образующей или оси до 2500 мм нормированы ГОСТ 8908. Этим документом предусмотрены 17 степеней точности допусков углов АТ, обозначаемых числами в порядке убывания точности: 1, 2, ..., 17. Выбор конкретной из 17 степеней определяется функциональными требованиями к точности угловых размеров.

Стандарт предусматривает для каждой степени точности следующие виды допусков на угловые размеры:

AT_a – «теоретический» допуск угла, выраженный в угловых единицах (в микроградусах, градусах, минутах, секундах);

AT_h – допуск угла, выраженный в единицах длины (в микрометрах) как отрезок на перпендикуляре к номинальному положению короткой стороны угла, на расстоянии L_1 от вершины этого угла;

AT_D – допуск угла конуса, выраженный в единицах длины (в микрометрах) как разность наибольшего и наименьшего допустимых

диаметров в заданном нормальном к оси сечении конуса на определенном осевом расстоянии L и отсчитываемый по перпендикуляру к оси конуса.

Допуски в угловых и линейных единицах связаны зависимостью

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

где AT_h – допуск угла в единицах длины, мкм; AT_α – допуск угла в угловых единицах, мкрад; L_1 – длина стороны угла или длина образующей конуса, мм.

Для конусов, имеющих малые углы (при конусности $C \leq 1 : 3$ или при значении угла конуса $\alpha \leq 19^\circ$):

$$AT_D \approx AT_h,$$

в таком случае принимают $L \approx L_1$ и назначают допуск AT_D (разность значений AT_D и AT_h составляет не более 2%).

Допуск AT_h назначают на конусы, имеющие конусность более $1 : 3$ в зависимости от длины L_1 . При больших значениях C и α

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

Следует обратить внимание, что в отличие от полей допусков гладких цилиндрических поверхностей, положение которых определяется основными отклонениями, расположение поля допуска в системе допусков угловых размеров специально не лимитируется.

На практике чаще других встречаются следующие варианты расположения допусков на угол:

- «внутри угла» ($-AT$);
- «снаружи угла» ($+AT$);
- симметрично относительно нулевой линии ($\pm AT / 2$).

Схемы расположения полей допусков приведены на рис. 9.1. Встречаются и такие расположения полей допусков углов:

- одностороннее с двумя положительными отклонениями;
- одностороннее с двумя отрицательными отклонениями,
- асимметричное с отклонениями разных знаков.

Поля допусков углов конусов также могут располагаться любым выбранным образом. Допуски углов призматических элементов детали устанавливают в зависимости от номинальной длины меньшей стороны угла L_1 (рис. 9.1).

Для призматических деталей кроме нормальных углов ГОСТ 8908 допускает применять стандартные уклоны S . Уклон представляет собой отношение перепада высот $(H - h)$ к расстоянию L между местами их измерения:

$$S = (H - h) / L = \operatorname{tg}\beta.$$

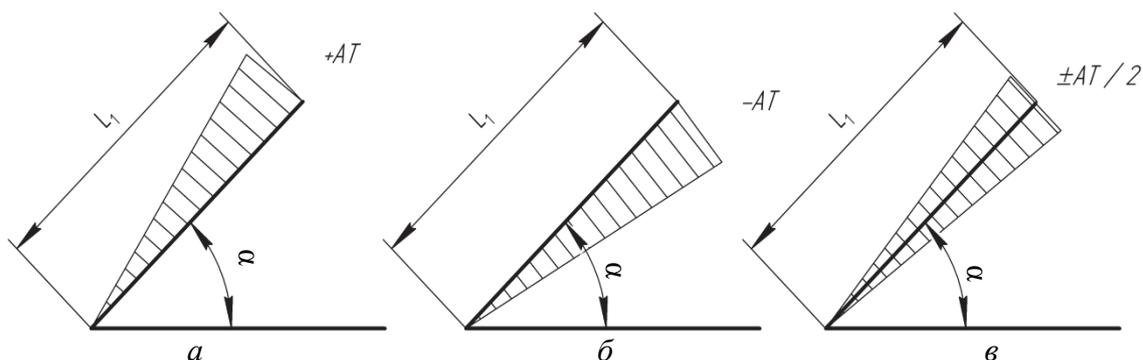


Рис. 9.1. Схемы расположения полей допусков угловых размеров:

a – «снаружи угла»; *б* – «внутри угла»;
в – симметрично относительно нулевой линии

Допуски углов конусов назначают в зависимости от длины конуса L вдоль оси (для конусов с конусностью не более $1 : 3$), а в остальных случаях – от длины образующей L_1 . Предпочтительным вариантом является назначение поля допуска с симметрично расположенными отклонениями.

Термины и определения, относящиеся к поверхностям и элементам деталей, имеющим угловые элементы, установлены ГОСТ 25548.

Конус – обобщенный термин, под которым в зависимости от конкретных условий понимают коническую поверхность, коническую деталь или конический элемент детали.

В деталях конические поверхности часто стыкуются с соосными цилиндрическими поверхностями и имеют вид усеченного конуса с большим и меньшим основаниями.

Под **основаниями конуса** понимают круговые сечения, образованные пересечением конической поверхности с плоскостями, перпендикулярными оси и ограничивающими его в осевом направлении.

Основной плоскостью называют плоскость поперечного сечения конуса, в котором задается номинальный диаметр конуса.

Базовой плоскостью является плоскость, перпендикулярная оси конуса и служащая для определения осевого положения основной плоскости или осевого положения данного конуса относительно сопрягаемого с ним конуса. Базовая плоскость может совпадать или не совпадать с основной.

Элементы конусов обозначаются следующим образом (рис. 9.2). Диаметры поперечных сечений конусов: большого основания – D ; малого – d ; заданного сечения (в котором задан допуск) – D_s , произвольно расположенного – d_x . Угол конуса обозначают α , угол уклона конуса $\alpha / 2$.

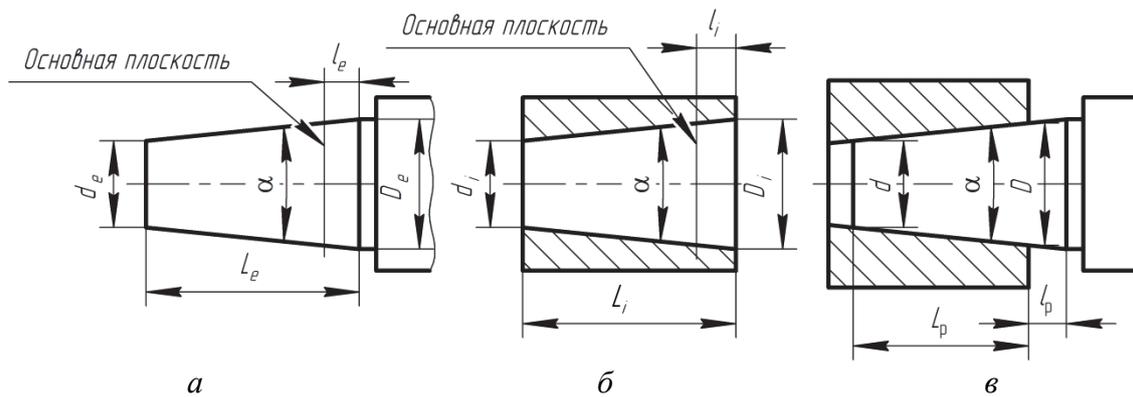


Рис. 9.2. Основные параметры:
a – наружного конуса; *б* – внутреннего конуса; *в* – конического соединения

Угол уклона конуса $\alpha / 2$ связан с размерами D , d и L следующим соотношением:

$$C = (D - d) / L = 2 \operatorname{tg}(\alpha / 2);$$

$$C / 2 = 0,5(D - d) / L = \operatorname{tg}(\alpha / 2),$$

где C – конусность; $C / 2$ – уклон i .

При необходимости различения параметров конических соединений, наружных и внутренних конусов в обозначениях параметров наружных конусов используют индексы e , параметров внутренних конусов индексы – i , а для параметров конических соединений – p .

Обозначение длины конуса – L , длины конического соединения – L_p , осевое расстояние от большего основания конуса до заданного сечения – L_s , до произвольно расположенного сечения – L_x . Расстояние между основной и базовой плоскостями конуса (базорасстояние конуса) обозначают z_e или z_i , а базорасстояние конического соединения – z_p .

Усеченный конус (наружный и внутренний) характеризуется диаметром большого основания D , диаметром малого основания d , длиной конуса L и углом конуса α .

Коническое соединение – соединение наружного и внутреннего конусов, имеющих одинаковые номинальные углы, характеризуется большим диаметром D , малым диаметром d , длиной конического соединения L_p , базорасстоянием z_p (расстояние между принятыми базами наружного и внутреннего конусов, образующих коническое сопряжение).

Система допусков и посадок конических деталей и соединений.

Стандарты устанавливают два способа нормирования допуска диаметра конуса.

Первый способ – назначение «углового допуска» AT . При этом поле допуска имеет вид треугольника с постоянным значением угла,

который нормируется одним из допусков угла AT_α , AT'_α , AT_h или (наиболее часто) AT_D . Допуск ограничивает отклонения угла конуса и отклонения формы конуса. Дополнительно могут быть более жестко ограничены допуски формы (например, комплексом допусков круглости поперечного сечения конуса T_{FR} и прямолинейности его образующих T_{FL}), если эти допуски недостаточно жестко ограничены допусками угла конуса.

Второй способ – назначение допуска диаметра IT_D (T_D), одинакового в любом поперечном сечении конуса и определяющего два предельных конуса, между которыми должны находиться все точки поверхности реального конуса. При этом способе нормируют допуск только в заданном сечении конуса (T_{Ds}). Допуски T_D или T_{Ds} должны соответствовать ГОСТ 25346. Для образования нужных посадок в конических соединениях деталей чаще применяют именно этот способ назначения допусков.

Для конических соединений ГОСТ 25307 предусматривает посадки с зазором, натягом, переходные.

В отличие от цилиндрических сопряжений с гарантированным зазором, где оси валов и отверстий не совпадают, конические сопряжения могут обеспечить самоцентрирование деталей с образованием нулевого зазора за счет осевого смещения охватываемой и охватывающей деталей. Поскольку смещение охватываемой детали к меньшему или большему основанию конуса приводит к уменьшению или увеличению зазора, в конических соединениях часто применяют специальные устройства регулировки зазора (натяга) между сопрягаемыми деталями.

При наличии установленных стандартом переходных посадок фактически конические сопряжения могут быть реализованы либо как посадки с зазором, либо как посадки с натягом.

Посадки с натягом используют для получения неподвижных герметичных соединений, а также соединений, обеспечивающих передачу крутящего момента, например, хвостовикам стержневого режущего инструмента.

Так как сопрягаемые поверхности конические и диаметры сопрягаемых деталей вдоль оси переменные, для одной и той же конической пары вал – втулка может быть достигнут желаемый характер соединения за счет фиксации:

- взаимного положения наружного и внутреннего конусов в осевом направлении;
- заданной силы запрессовки (для посадок с натягом).

При назначении посадок для конических соединений следует использовать поля допусков со следующими основными отклонениями:

- для внутренних конусов – $H; J_s; N$;
- для наружных конусов – $d, e, f, g, h, j_s, k, m, n, p, r, s, t, u, x, z$.

Для образования посадок рекомендуются поля допусков в качествах от 4-го до 9-го, причем рекомендуемые поля допусков отверстий – $H4, H5, H6, H7, H8, H9$, т. е. рекомендуемые посадки организуются в системе основного отверстия.

В посадках рекомендуется сочетать поля допусков диаметров наружного и внутреннего конусов одного качества, но в обоснованных случаях допуск диаметра конического отверстия можно назначать на один или два качества грубее.

Для получения посадок различного характера в соответствии с ГОСТ 25307 для наружных конусов можно использовать следующие основные отклонения:

- при формировании посадок с зазором – d, e, f, g, h ;
- для переходных – j_s, k, m, n, p ;
- для посадок с натягом – r, s, t, u, x, z .

Поля допусков в остальных качествах могут использоваться для таких изделий высокой точности, как конические калибры, эталонные меры и т. п. (качества от 1-го до 5-го), или несопрягаемых деталей низкой точности (качества от 10-го до 17-го).

10. ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ, ВХОДЯЩИХ В РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

ЛЕКЦИЯ 13

Классификация размерных цепей, основные термины и определения. Условные обозначения параметров размерных цепей. Методы решения размерных цепей, обозначающих полную и неполную взаимозаменяемость. Расчет размерных цепей методами максимума – минимума и вероятностным методом.

10.1. Классификация размерных цепей, основные термины и определения.

Условные обозначения параметров размерных цепей

Размерной цепью называют совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное расположение поверхностей (осей) одной или нескольких деталей. Из определения понятия размерной цепи следует, что размеры, входящие в нее, не могут назначаться независимо.

Любая размерная цепь состоит из звеньев.

Звеном называется каждый из размеров, образующих размерную цепь.

Исходя из области применения различают размерные цепи:

- конструкторские (решение задачи обеспечения точности при конструировании изделия);
- технологические (решение задачи обеспечения точности при изготовлении изделия);
- измерительные (решение задачи измерения величин, характеризующих точность изделия).

По месту в изделии размерные цепи бывают:

- детальные (такие размерные цепи определяют точность расположения поверхностей либо осей одной детали);
- сборочные (такие размерные цепи определяют точность расположения поверхностей либо осей деталей, входящих в сборочную единицу).

По расположению звеньев размерные цепи можно классифицировать следующим образом:

- линейные (в этом случае звенья цепи являются линейными размерами и расположены на параллельных прямых);
- угловые (в этом случае звенья цепи являются угловыми размерами);
- плоские (звенья цепи расположены произвольно в одной или нескольких параллельных плоскостях);
- пространственные (звенья цепи расположены произвольно в пространстве).

Более подробно классификацию размерных цепей см. в справочнике [2], с. 4–8.

В любой размерной цепи можно выявить исходное (замыкающее) звено и составляющие звенья.

Исходное звено – звено, номинальный размер и предельные отклонения которого определяют функционирование механизма и должны быть определены в результате решения размерной цепи.

Замыкающее звено (замыкающий размер) – звено, которое получается последним в процессе обработки детали, сборки узла или измерений.

Составляющее звено – звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение замыкающего (исходного) звена. Составляющие звенья размерной цепи разделяются на уменьшающие и увеличивающие.

Увеличивающее звено размерной цепи – звено, с увеличением которого (при прочих постоянных) увеличивается замыкающее звено, а **уменьшающее звено** размерной цепи – звено, с увеличением которого (при прочих постоянных) уменьшается замыкающее звено.

Пример детали с обозначением размеров показан на рис. 10.1, размерная цепь – на рис. 10.2.

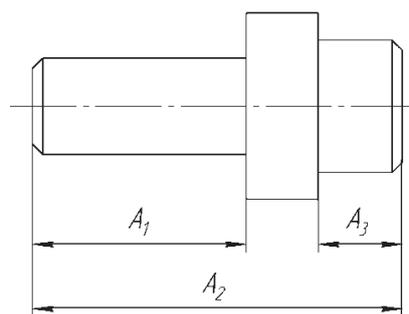


Рис. 10.1. Палец с обозначением размеров

На рис. 10.2. размеры A_1 , A_2 , A_3 – составляющие, причем A_1 и A_3 – уменьшающие, а размер A_2 – увеличивающий (для удобства над буквенными обозначениями составляющих размеров указывают стрелку вправо для увеличивающих, а влево – для уменьшающих); размер A_{Δ} – замыкающий.

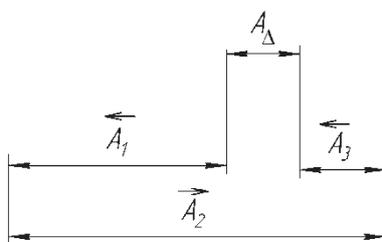


Рис. 10.2. Детальная размерная цепь

10.2. Методы решения размерных цепей, обозначающих полную и неполную взаимозаменяемость

Сущность расчета размерной цепи заключается в установлении рациональных допусков и предельных отклонений ее размеров исходя из требований конструкции и технологии изготовления изделия, при котором изменение любого размера цепи в пределах его допуска не приведет к выходу другого размера за пределы его допуска.

Для правильного построения и эффективного решения размерных цепей необходимо выполнить ряд следующих требований и рекомендаций:

- формулируется задача, для решения которой выполняется размерный анализ;

- требуется выявить замыкающее (исходное) звено;

- в размерной цепи может быть только один замыкающий размер или исходное звено;

- определяя составляющие звенья размерной цепи, следует идти от поверхностей (осей) деталей, образующих исходное звено, к основным базам (осям) этих деталей, далее – к поверхностям (осям) деталей, базирующих предыдущие, и т. д., так, чтобы образовался замкнутый контур;

- в число составляющих звеньев размерной цепи включаются все размеры детали, непосредственно влияющие на замыкающий (исходный) размер;

- каждая размерная цепь должна состоять из наименьшего числа звеньев, т. е. должен выполняться принцип «кратчайшей» размерной цепи.

Расчет размерных цепей направлен на решение двух задач, которые отличаются последовательностью расчетов:

- прямая задача (проектный расчет) заключается в определении номинальных размеров и предельных отклонений всех составляющих звеньев размерной цепи по известным номинальному размеру и предельным отклонениям замыкающего (исходного) звена;

- обратная задача (проверочный расчет) заключается в определении номинального размера и предельных отклонений замыкающего звена по известным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев.

Решение прямой и обратной задач может выполняться методом максимума-минимума или вероятностным методом, при этом требуемая точность замыкающего звена может быть достигнута методом полной или неполной (ограниченной) взаимозаменяемости.

Основные соотношения размерных цепей. На основании выполнения условия замкнутости размерной цепи можно составить основное

уравнение размерной цепи, которое для плоских размерных цепей будет иметь вид

$$A_{\Delta} = \sum_{k=1}^m \vec{A}_k - \sum_{k=1}^n \vec{A}_k, \quad (10.1)$$

где m – число увеличивающих звеньев; n – число уменьшающих звеньев.

Наибольший и наименьший предельные размеры замыкающего звена можно определить по зависимостям:

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{k=1}^m \vec{A}_k^{\max} - \sum_{k=1}^n \vec{A}_k^{\min}; \quad (10.2)$$

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{k=1}^m \vec{A}_k^{\min} - \sum_{k=1}^n \vec{A}_k^{\max}. \quad (10.3)$$

Вычитая выражения (10.2) и (10.3), можно получить зависимость, связывающую допуск замыкающего звена с допусками составляющих звеньев:

$$T_{\Delta} = \sum_{k=1}^{m+n} T_k. \quad (10.4)$$

Аналогично можно составить уравнения, связывающие верхние и нижние отклонения звеньев размерной цепи:

$$ES_{\Delta} = \sum_{k=1}^m \vec{E}S_k - \sum_{k=1}^n \vec{E}I_k; \quad (10.5)$$

$$EI_{\Delta} = \sum_{k=1}^m \vec{E}I_k - \sum_{k=1}^n \vec{E}S_{k \text{ ум.}}. \quad (10.6)$$

10.3. Расчет размерных цепей методами максимума – минимума и вероятностным методом

Порядок расчета размерных цепей методом полной взаимозаменяемости.

1. После предварительного изучения конструкции детали устанавливается последовательность ее обработки и выполняется размерный анализ.

2. Для замыкающего размера из таблиц стандартов (ГОСТ 25346, ГОСТ 30893.1) назначаются его предельные отклонения, например, по $\pm \frac{IT12}{2}$.

3. Проверяется правильность принятых размеров составляющих звеньев по формуле (10.1).

4. Рассчитывается среднее число единиц допуска (коэффициент точности) размерной цепи с учетом известных допусков:

$$a_m = \frac{T_\Delta}{\sum_{k=1}^{m+n} i_k}, \quad (10.7)$$

где $\sum_{k=1}^{m+n} i_k$ – сумма единиц допусков составляющих звеньев; значения единиц допуска для определяемых составляющих звеньев принимаются по формуле

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D, \quad (10.8)$$

где D – среднее геометрическое крайних размеров одного интервала.

5. По полученному числу единиц допуска a_m определяется ближайший соответствующий ему квалитет по ГОСТ 25346.

6. По выбранному квалитету назначаются допуски и отклонения на все составляющие звенья, исходя из общего правила для охватывающих размеров – как на основные отверстия, для охватываемых – как на основные валы, а для прочих размеров – $\pm \frac{IT}{2}$.

Допуски определяются по ГОСТ 25346, ГОСТ 30893.1 в зависимости от величины их исполнительных размеров и записываются номинальные размеры с предельными отклонениями.

7. Проверяется правильность назначения допусков и предельных отклонений составляющих звеньев по уравнениям (10.4)–(10.6).

При невыполнении условий (10.4)–(10.6) в значения предельных отклонений составляющих звеньев вносят некоторые изменения и по новым их значениям производят повторную проверку. Если эти действия не позволяют достичь выполнения названных условий, допускается из числа составляющих звеньев выделить корректирующее звено (например, увеличивающее) и определить его отклонения по формуле для корректирующего увеличивающего звена:

$$ES_{\text{ув.}}^{\text{кор.}} = \sum_{k=1}^n \tilde{E}I_k + ES_\Delta - \sum_{k=1}^m \tilde{E}S_k; \quad (10.9)$$

$$EI_{\text{ув.}}^{\text{кор.}} = \sum_{k=1}^n \tilde{E}S_k + EI_\Delta - \sum_{k=1}^m \tilde{E}I_k. \quad (10.10)$$

Порядок расчета размерных цепей вероятностным методом.

1. Последовательно выполняются пункты 1–3 по аналогии с расчетом размерных цепей методом полной взаимозаменяемости.

2. Рассчитывается среднее число единиц допуска (коэффициент точности) размерной цепи с учетом известных допусков:

$$a_m = \frac{T_\Delta}{t \sqrt{\sum_{k=1}^{m+n} \lambda_k^2 i_k^2}}, \quad (10.11)$$

где t – коэффициент, зависящий от процента риска P ($t = 3$ при нормальном законе распределения рассеяния размеров и проценте риска $P = 0,27\%$); i – единица допуска определяемых составляющих звеньев, значения единиц допуска для этих звеньев рассчитываются по формуле (10.8).

3. По полученному числу единиц допуска a_m определяется ближайший соответствующий ему квалитет согласно ГОСТ 25346.

4. По выбранному квалитету назначаются допуски и отклонения на звенья, исходя из общего правила для охватываемых размеров – как на основные отверстия, для охватываемых – как на основные валы, а для прочих размеров – $\pm \frac{IT}{2}$.

5. Проверяется правильность назначения допусков и предельных отклонений составляющих звеньев (для случая, когда рассеяние размеров подчиняется нормальному закону распределения, кривые распределения симметричны относительно середины полей допусков, размерная цепь – многозвенная):

$$T_\Delta \geq t \sqrt{\sum_{k=1}^{m+n} \lambda_k^2 T_k^2}, \quad (10.12)$$

а также условия (10.9) и (10.10) (для случая, когда рассеяние размеров подчиняется нормальному закону распределения, кривые распределения симметричны относительно середины полей допусков, размерная цепь – многозвенная).

Если во всех уравнениях условия выполняются, то предельные отклонения и допуски составляющих звеньев рассчитаны правильно.

6. При невыполнении условий п. 5 рекомендуется определить возможный коэффициент риска P и оценить его приемлемость. Для этого рассчитывается коэффициент t по формуле

$$t = \frac{T_\Delta}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m+n} \lambda_k^2 T_k^2}}. \quad (10.13)$$

11. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ КОНТРОЛЬ

ЛЕКЦИЯ 14

Допуски и посадки шпоночных соединений. Допуски и посадки шлицевых соединений. Обозначения на чертежах. допусков и посадок шпоночных и шлицевых соединений. Контроль точности.

11.1. Допуски и посадки шпоночных соединений

Шпоночное соединение широко применяется во многих отраслях техники, его геометрические параметры стандартизованы, и образуется оно рядом деталей: вал и втулка, соединенные одной или несколькими шпонками, входящими в их пазы. Соединение, как правило, разъемное, может быть неподвижным. В этом случае шпонка предназначена для передачи вращающего момента. В подвижных соединениях шпонка может выполнять дополнительно функцию направляющего элемента.

Шпоночное соединение может быть напряженным при использовании клиновых и тангенциальных шпонок и ненапряженным с призматическими и сегментными шпонками.

Из всех разновидностей шпонок в общем машиностроении распространены призматические шпонки, основные размеры которых стандартизированы (рис. 11.1). Более подробная информация по параметрам шпоночных соединений приведена в ГОСТ 23360.

Поля допусков соединения «вал – ступица» по номинальному диаметру d выбираются, как правило, методом аналогов в зависимости от назначения шпоночного соединения и условий его работы.

По сопрягаемому размеру шпонки с пазом – ширине b для шпоночных соединений с призматическими шпонками ГОСТ 23360 предусматриваются три вида соединений: плотное, нормальное и свободное. Предельные отклонения ширины шпонки принимаются $h9$. В зависимости от характера соединений – «шпонка – паз вала» или «шпонка – паз ступицы» по ширине шпонки b поля допусков установлены ГОСТ 23360 с предельными отклонениями пазов вала и втулки соответственно: свободное – вал $H9$, втулка $D10$; нормальное – вал $N9$, втулка $Js9$; плотное – вал и втулка $P9$. При этом необходимо стараться использовать нормальное соединение, как наиболее распространенное в машиностроении. Свободное соединение используют для направляющих шпонок, а плотное – для соединений, работающих в условиях динамических нагрузок (частые пуски-остановки, при реверсировании движения и т. п.).

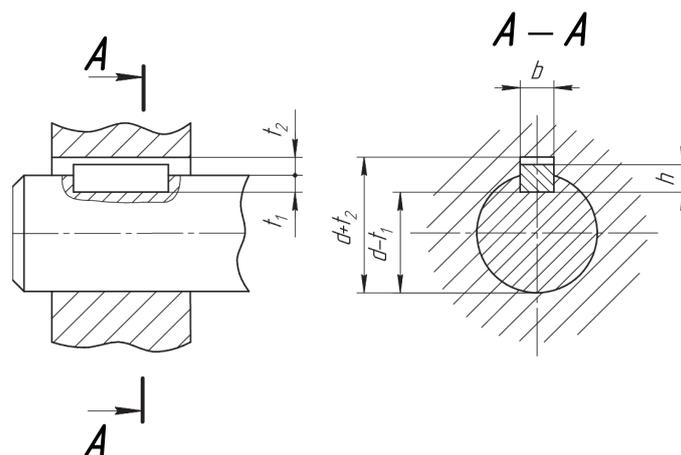


Рис. 11.1. Обозначение основных геометрических параметров шпоночного соединения с призматической шпонкой

Все остальные размеры шпоночного соединения, кроме размера по ширине, являются несопрягаемыми. Для них установлены следующие поля допусков: высота шпонки – по $h11$; длина шпонки – по $h14$; длина паза на валу и на втулке – по $H15$; глубина паза на валу и во втулке – по $h12$.

Обеспечение условия собираемости шпоночного соединения требует нормирования точности расположения поверхностей. Для этого назначается допуск параллельности шпоночного паза оси ступени вала, на которой предусматривается шпоночный паз и допуск симметричности. Допуск параллельности принимается примерно 0,6 от допуска на ширину паза, а допуск симметричности – четыре допуска на ширину паза. Расчетные значения округляются до ближайших стандартных величин по ГОСТ 24643.

Размеры, допуски и посадки призматических направляющих шпонок с креплением на валу установлены ГОСТ 8790 ([2], табл. 4.66.3), для сегментных шпонок – ГОСТ 24071 ([2], табл. 4.68.1).

11.2. Допуски и посадки шлицевых соединений

Шлицевое соединение применяется в массовом производстве, стандартизировано, образуется двумя деталями: валом и ступицей, которые содержат сопрягаемые элементы – зубья (шлицы) на валу, входящие во впадины между зубьями ступицы. Такие соединения могут быть неподвижными для передачи крутящего момента и подвижными в осевом направлении. По сравнению со шпоночными шлицевые соединения имеют большую прочность, точность и технологичность. В связи с этим шлицевые соединения позволяют передавать большие крутящие моменты, ударные нагрузки, широко применяются при высоких скоростях.

В зависимости от назначения, условий работы, конструктивных особенностей используют три вида шлицевых соединений, отличающихся профилем зубьев: *прямобоочные*, *эвольвентные* (угол профиля 30°) и *треугольные*.

Наиболее распространены шлицевые соединения с прямобоочным профилем и четным числом зубьев (рис. 11.2).

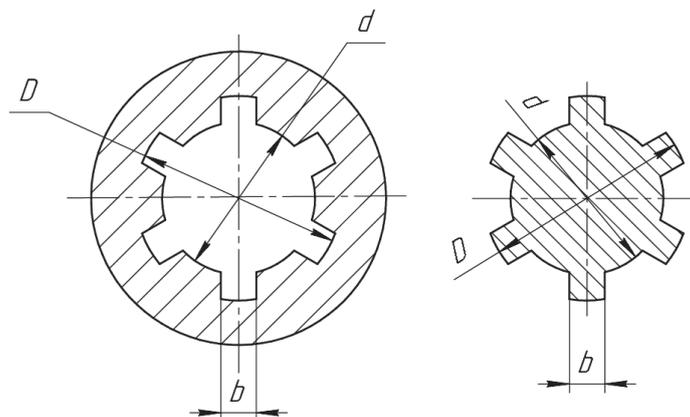


Рис. 11.2. Обозначение геометрических параметров шлицевого соединения с прямобоочным профилем

Основные размеры шлицев и пазов стандартизированы. Более подробная информация по геометрическим параметрам шлицевых соединений изложена в ГОСТ 1139.

В зависимости от технологических и эксплуатационных требований центрирование вала и ступицы достигается одним из трех методов (рис. 11.3): по наружному диаметру D , внутреннему диаметру d и боковым сторонам b .

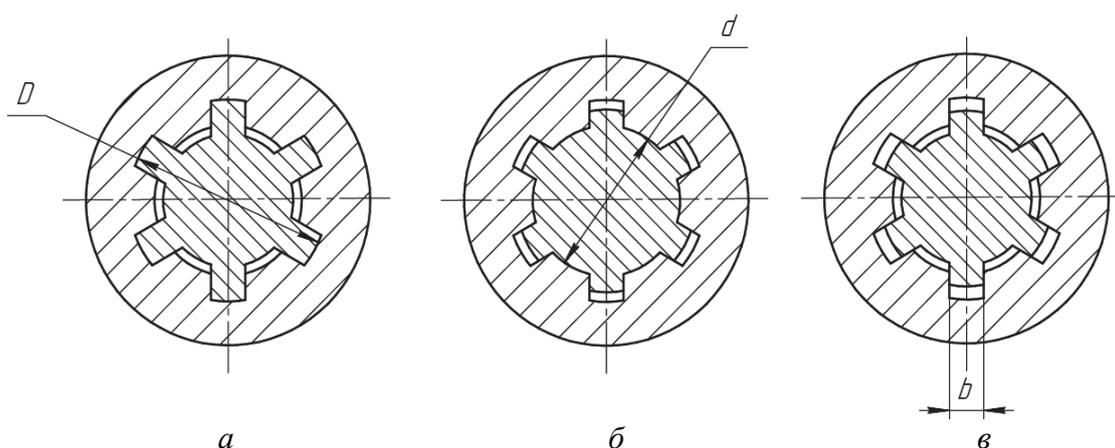


Рис. 11.3. Центрирование шлицевых соединений с прямобоочным профилем:
 a – по наружному диаметру; b – по внутреннему диаметру;
 e – по боковым сторонам

Центрирование по D обеспечивает повышенные требования к соосности элементов соединения, применяется при малых нагрузках и повышенном износе. Центрирование по d также обеспечивает точное центрирование, применяется для подвижных нагруженных соединений с твердой закаленной ступицей.

Центрирование по b обеспечивает передачу больших динамических нагрузок, однако точность его невысокая.

Допуски, посадки и рекомендации по контролю шлицевых прямобочных соединений установлены ГОСТ 1139.

В этом стандарте приведены поля допусков шлицевых валов и ступиц для образования посадок при различных видах центрирования. Выделены рекомендуемые и предпочтительные из числа рекомендуемых полей допусков, учтены вид соединения (подвижное, неподвижное), термообработка (закалка), механическая обработка.

Из рекомендуемых стандартом полей допусков валов и ступиц выделены следующие предпочтительные поля допусков:

- для валов: $g6, js6, f7, js7, k7, e8, f9, h9, d9, f9$;
- для ступиц: $H7, F8, D9, F10$.

Стандартом предусмотрены также рекомендуемые сочетания полей допусков валов и ступиц, образующие посадки, среди которых в зависимости от метода центрирования выделены предпочтительные.

При центрировании по внутреннему диаметру:

- посадки центрирующего диаметра d : $H7/f7, H7/g6$;
- посадки по ширине b : $D9/h9, D9/js7, D9/k7, F10/f9, F10/js7$.

При центрировании по наружному диаметру:

- посадки центрирующего диаметра D : $H7/f7, H7/g6$;
- посадки по ширине b : $F8/f7, F8/f8, F8/js7$.

При центрировании по боковым сторонам зубьев посадки по ширине b : $F8/js7, D9/e8, D9/f8, F10/d9, F10/f8$.

Поля допусков нецентрирующих диаметров также установлены стандартом: при центрировании по наружному диаметру или боковым поверхностям на внутренний диаметр назначается поле допуска для ступиц $H11$, для вала – $a11$; при центрировании по внутреннему диаметру или боковым поверхностям на наружный диаметр назначается поле допуска для ступицы $H12$, для вала – $a11$.

Обозначения прямобочных шлицевых соединений валов и ступицы должны содержать: букву, указывающую поверхность центрирования, число зубьев, номинальные размеры d , D , b в соединении вала и ступицы; обозначение полей допусков или посадок для этих размеров, помещенные после их значений.

Параметры, допуски, посадки и методы контроля шлицевых соединений с эвольвентным профилем зубьев определены ГОСТ 6033; правила выполнения чертежей шлицевых соединений – ГОСТ 2.409.

11.4. Обозначения на чертежах допусков и посадок шпоночных и шлицевых соединений.

Контроль точности

В условном обозначении призматических шпонок последовательно приводятся:

- слово «шпонка»;
- исполнение (исполнение 1 не обозначается);
- геометрические параметры сечения и длина шпонки в формате $b \times h \times l$;
- обозначение стандарта.

В условном обозначении шлицевых соединений с прямобочным профилем последовательно приводятся:

- буква, обозначающая поверхность центрирования;
- число зубьев (шлицев);
- номинальные размеры в формате $d \times D \times b$ с указанием обозначения принятых посадок.

Форма обозначения отдельных элементов шлицевого соединения с прямобочным профилем вместо обозначения посадок содержит обозначение допусков отдельных элементов.

Пример. Условное обозначение призматической шпонки исполнения 2 с размерами поперечного сечения: ширина – 8 мм, высота – 7 мм, длина шпонки – 63 мм.

Данное шпоночное соединение будет обозначено следующим образом: шпонка $8 \times 7 \times 63$ ГОСТ 23360.

Пример. Обозначение шлицевого соединения с центрированием по внутреннему диаметру (d), числом зубьев $z = 8$; внутренним диаметром $d = 46$ мм; наружным диаметром $D = 50$ мм; шириной зуба $b = 9$ мм:

$$d - 8 \times 46 \frac{H7}{f7} \times 50 \frac{H12}{a11} \times 9 \frac{D9}{h9}.$$

Контроль прямобочных шлицевых деталей осуществляют обычно комплексным методом, реже по элементам. Для комплексного контроля шлицевых втулок в цеховых условиях применяют комплексные шлицевые калибры-пробки, а для шлицевых валов – комплексные шлицевые калибры-кольца.

Прохождение калибра-пробки означает, что размеры наружного D и внутреннего d диаметров втулки и ширины впадины b не меньше их наименьших предельных размеров. Одновременно проходной шлицевой калибр контролирует также правильность расположения впадин втулки и допускаемые отклонения их формы от прямолинейности и параллельности относительно оси втулки. Для обеспечения этого требования при расчете размеров калибра учитывают допускаемые отклонения как самих размеров, так и отклонений формы и расположения шлицевой втулки.

Шлицевой калибр контролирует только один диаметр втулки (D или d) в зависимости от того, какой из них принят в соединении в качестве центрирующего элемента. По второму (нецентрирующему) диаметру калибр имеет гарантированный зазор.

Аналогично осуществляют контроль шлицевых валов проходными комплексными шлицевыми калибрами-кольцами.

Контроль норм точности шпоночных пазов валов и втулок осуществляют с помощью комплекса калибров.

12. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ КОНТРОЛЬ

ЛЕКЦИЯ 15

Основные параметры резьбы (на примере метрической крепежной). Влияние отклонений шага, угла профиля и среднего диаметра на качество резьбового соединения. Количественная взаимосвязь между указанными параметрами и их диаметральными проявлениями. «Приведенный средний диаметр». Система допусков и посадок резьб. Обозначение точности и посадок метрических резьб.

12.1. Основные параметры резьбы (на примере метрической крепежной)

Резьбовым соединением называется соединение двух деталей с помощью резьбы.

Резьба представляет собой чередующиеся выступы и впадины на поверхности тела вращения, расположенные по винтовой линии.

Резьбовые соединения широко используются в конструкциях машин, аппаратов, приборов, инструментов и приспособлений различных отраслей промышленности.

Общим требованием для всех резьб и резьбовых соединений является обеспечение прочности, долговечности и характера соединения. Главным условием взаимозаменяемости резьб является свинчиваемость болтов и гаек при достижении требуемого характера соединения без дополнительной подготовки.

По форме профиля резьбы бывают: с треугольным профилем (метрическая с углом профиля 60° и дюймовая – 55°); с прямоугольным профилем; с трапецеидальным профилем; упорные; круглые.

В зависимости от функционального назначения резьбы делятся на крепежные, крепежно-уплотнительные и для передачи движения. Среди крепежных резьб чаще встречаются метрические.

Основные параметры метрических резьб. Геометрические параметры, характеризующие профиль метрических резьб, регламентируются ГОСТ 9150 (рис. 12.1).

Номинальные размеры параметров резьбы являются одинаковыми для болта и гайки. Параметры, относящиеся к наружным резьбам, обозначаются строчными буквами латинского алфавита, к внутренним резьбам – прописными.

К параметрам метрических резьб (рис. 12.1) относятся: d (D) – наружный диаметр резьбы болта (гайки); d_1 (D_1) – внутренний диаметр

резьбы болта (гайки); d_2 (D_2) – средний диаметр резьбы болта (гайки). Этот диаметр является главным параметром в обеспечении собираемости и требований взаимозаменяемости резьбы; p – шаг резьбы; α – угол профиля резьбы – угол между боковыми сторонами профиля в основной плоскости.

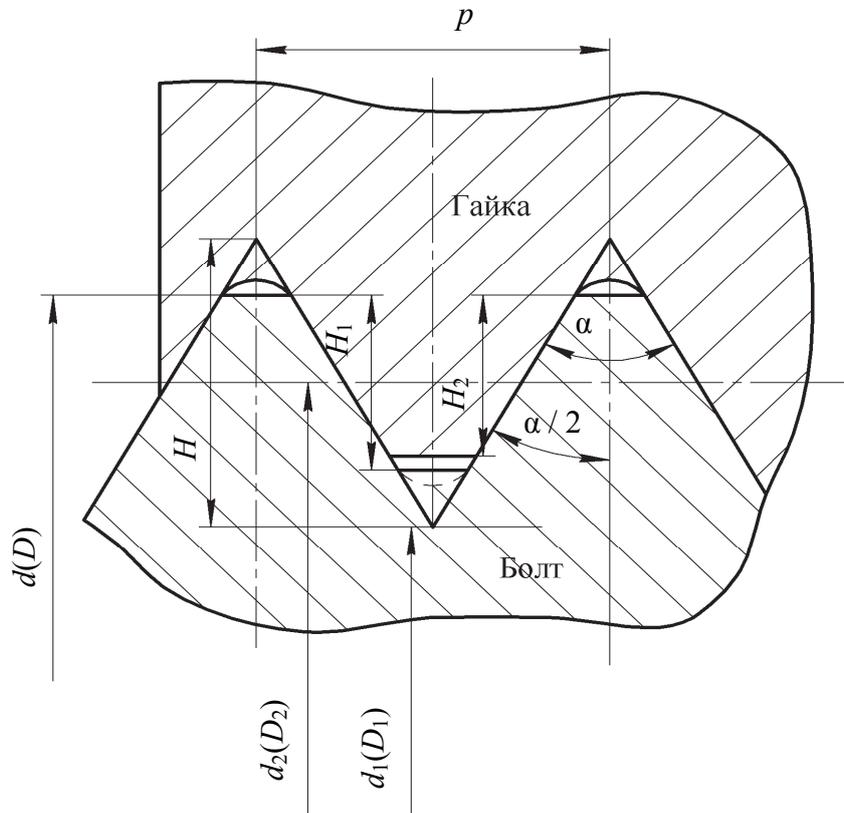


Рис. 12.1. Профиль и основные параметры метрической резьбы

Обычно задается половина угла профиля $\alpha / 2$ – угол между боковой стороной профиля и перпендикуляром, опущенным из вершины исходного профиля резьбы на ее ось; H – высота исходного треугольника, полученного продолжением боковых сторон профиля до их пересечения.

12.2. Влияние отклонений шага, угла профиля и среднего диаметра на качество резьбового соединения

Длиной свинчивания (высотой гайки) называется длина соприкосновения винтовых поверхностей наружной и внутренней резьб в осевом сечении.

При изготовлении резьбовых деталей неизбежны погрешности профиля резьбы и ее размеров, возможна также неконцентричность диаметральных сечений и т. д.

Для обеспечения свинчиваемости и требуемого качества резьбового соединения действительные профили резьбовых деталей, определяемые действительными значениями диаметров, угла профиля и шага резьбы, не должны выходить за предельные профили на всей длине свинчивания.

Поскольку по наружному и внутреннему диаметрам резьбового соединения предусмотрен зазор, то свинчиваемость наружной и внутренней резьбы будет зависеть от положения боковых сторон и профиля. Положение боковых сторон профиля определяется средним диаметром, шагом и половиной угла профиля. Однако контроль половины угла профиля и шага резьбы довольно сложен и не может быть осуществлен простыми средствами измерения с достаточной точностью. Но между отклонениями шага, угла профиля и среднего диаметра существует определенная геометрическая зависимость, поэтому отклонения шага и угла профиля резьбы могут быть приведены к одному показателю – изменению среднего диаметра.

Таким образом, средний диаметр является основным параметром резьбового сопряжения, обеспечивающим точность и характер сопряжения.

12.3. Количественная взаимосвязь между указанными параметрами и их диаметральными проявлениями. «Приведенный средний диаметр»

Отклонением шага резьбы Δp называют разность между действительным и номинальным расстоянием в осевом направлении между двумя средними точками любых одноименных боковых сторон профиля в пределах длины свинчивания.

Наложим на осевое сечение резьбы гайки, имеющей номинальный профиль и размеры, осевое сечение болта, у которого на длине свинчивания шаг увеличен на Δp_n (рис. 12.2). Даже при равенстве диаметров резьбы болта и гайки ($d_2 = D_2$) эти детали не свинчиваются.

Свинчивание резьбовых деталей, имеющих погрешность шага резьбы, возможно только при наличии разности f_p их средних диаметров, полученной в результате уменьшения среднего диаметра болта d_2 или увеличения среднего диаметра гайки D_2 .

Новое положение профиля резьбы болта на рис. 12.3 показано штриховой линией. Величина f_p требуемого изменения d_2 (или D_2), необходимая для компенсации погрешностей шага, называется диаметральной компенсацией шага резьбы.

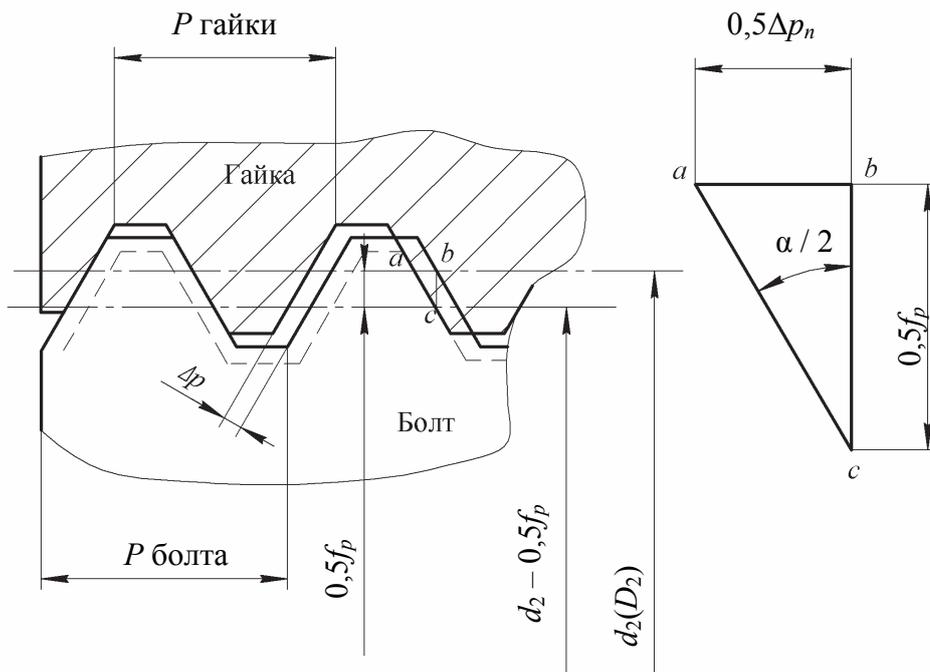


Рис. 12.2. Зависимость между отклонением шага и диаметальной компенсацией погрешности шага

На рис. 12.3 показаны сечения резьбы гайки с номинальным профилем и болта, имеющего погрешность половины угла профиля $\Delta\alpha / 2$. Аналогично при равенстве средних диаметров резьбы болта и гайки ($d_2 = D_2$) эти детали не будут свинчиваться вследствие перекрытия профилей резьбы (на рис. 12.3 – заштрихованные участки).

При уменьшении среднего диаметра болта d_2 (или увеличении среднего диаметра гайки D_2) на величину f_α профиль резьбы болта займет положение, показанное на рис. 12.3 штриховой линией, и свинчивание окажется возможным, т. е. погрешность половины угла профиля компенсирована опять-таки путем изменения среднего диаметра. Величина f_α требуемого изменения d_2 (или D_2), необходимая для компенсации погрешностей половины угла профиля, называется диаметальной компенсацией погрешностей половины угла профиля.

Свинчиваемость резьбового соединения можно считать обеспеченной, если разность средних диаметров резьбы болта и гайки не меньше суммы диаметральных компенсаций шага и половины угла профиля обеих деталей.

Значение среднего диаметра, увеличенное для наружной резьбы (или уменьшенное для внутренней резьбы) на суммарную диаметральную компенсацию отклонений шага и половины угла профиля, называется приведенным средним диаметром резьбы.

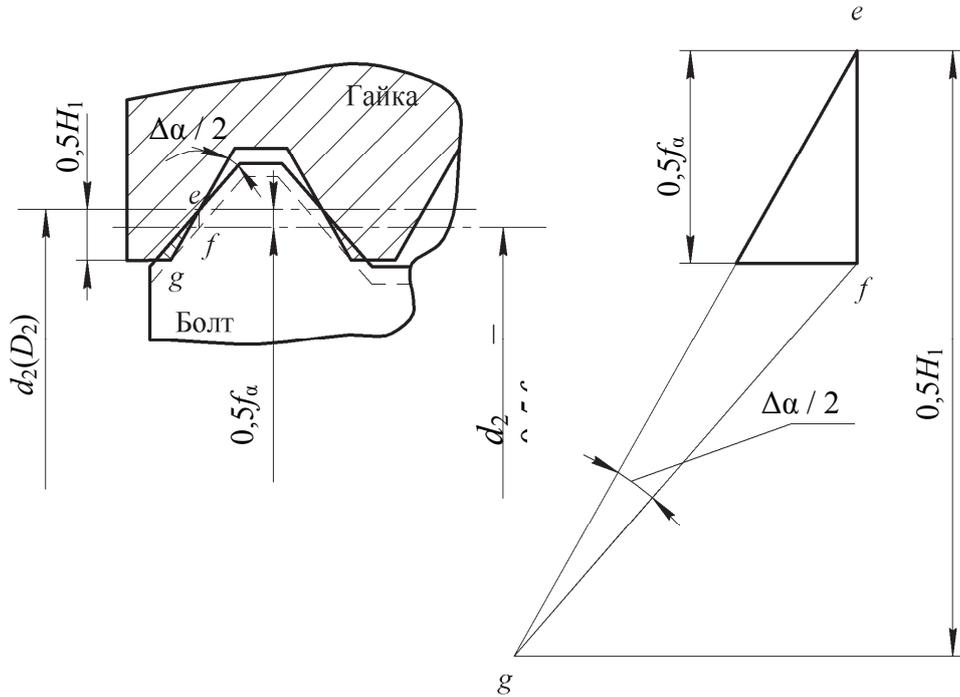


Рис. 12.3. Зависимость между отклонением половины угла профиля и диаметальной компенсацией погрешностей половины угла профиля

Для наружной резьбы приведенный средний диаметр имеет вид

$$d_{2\text{пр}} = d_{2q} + f_p + f_a, \quad (12.1)$$

где d_{2q} – измеренный (действительный) средний диаметр болта.

Для внутренней резьбы

$$D_{2\text{пр}} = D_{2q} - (f_p + f_a), \quad (12.2)$$

где D_{2q} – измеренный (действительный) средний диаметр гайки.

Суммарный (полный) допуск на средний диаметр болта Td_2 и гайки TD_2 включает допуск на собственно средний диаметр Td_2' и TD_2' , а также величины компенсации f_p и f_a .

$$Td_2(TD_2) = Td_2'(TD_2') + f_p + f_a. \quad (12.3)$$

Допуск Td_2' (TD_2') представляет собой ту часть суммарного допуска Td_2 (TD_2), которая может быть использована как собственно допуск по среднему диаметру при наличии погрешностей шага и углов профиля.

При раздельном контроле шага, угла профиля и среднего диаметра приведенный средний диаметр должен быть у болта не больше, а у гайки не меньше его номинального значения.

Приведенные средние диаметры болта и гайки соответственно должны быть:

$$d_{2\text{пр}} \geq d_{2\text{min}} ; D_{2\text{пр}} \leq D_{2\text{max}} . \quad (12.4)$$

12.4. Система допусков и посадок резьб

В зависимости от характера сопряжения по боковым сторонам профиля (т. е. по среднему диаметру) различают резьбовые сопряжения с зазором, с натягом и выполненные по переходной посадке.

Резьбовые сопряжения с зазором широко используются в машиностроении и приборостроении, это разъемные неподвижные и подвижные соединения (передачи винт – гайка).

Резьбовые сопряжения с натягом по среднему диаметру применяются в тех случаях, когда в соединении хотят исключить самоотвинчивание под воздействием вибрации, изменения рабочей температуры, для обеспечения герметичности резьбового соединения и т. д.

Переходные резьбовые посадки используются в таких же случаях, как и посадки с натягом, но при этом являются разборными.

Неподвижность и прочность соединений обеспечиваются при посадках с натягом за счет натяга по среднему диаметру, при переходных посадках – применением дополнительных элементов заклинивания.

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

Система допусков и посадок позволяет обеспечить более широкое внедрение резьб с зазором, которые облегчают сборку соединений, дают возможность нанесения антикоррозионных покрытий, а также повышают циклическую прочность резьбовых соединений, испытывающих переменные нагрузки.

Для получения посадок резьбовых деталей с зазором предусматриваются следующие основные отклонения: h, g, f, e, d – для наружных резьб и H, G, F, E – для внутренних (рис. 12.4). Эти отклонения одинаковы для наружной (d_2, d) и внутренней (D_2, D) резьбы.

12.5. Обозначение точности и посадок метрических резьб

Обозначение поля допуска резьбы состоит из цифры, показывающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение. Здесь принят обратный порядок указания точности и основного отклонения по сравнению с обозначением полей допусков деталей гладких цилиндрических соединений для того, чтобы по написанию различать между собой обозначения этих принципиально разных полей допусков.

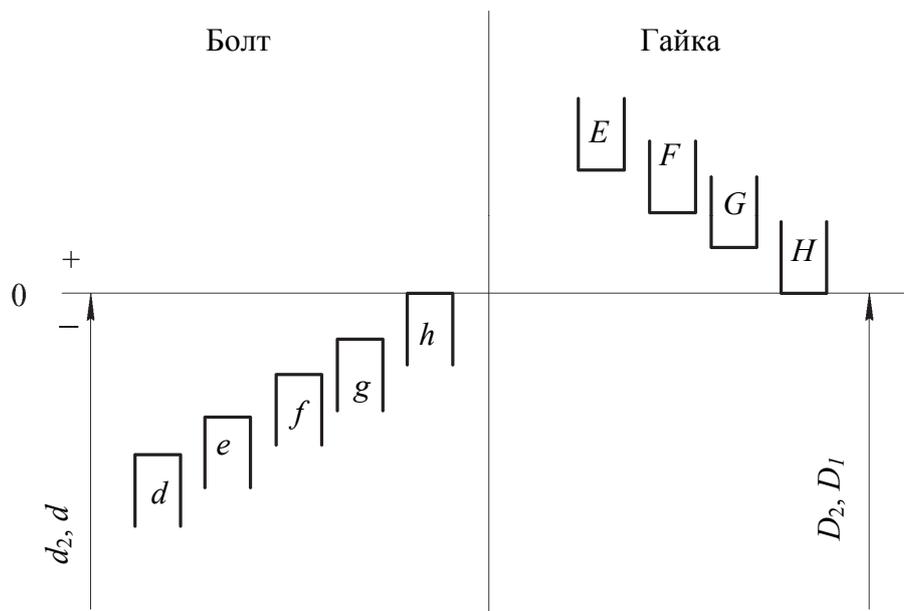


Рис. 12.4. Схема расположения основных отклонений резьбы для посадок с зазором

Обозначение поля допуска резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра, помещаемого на первом месте, и следующего за ним поля допуска диаметра выступов (наружный диаметр d болта либо внутренний диаметр D_1 гайки). Например, $7g6g$ – поле допуска болта, где $7g$ – поле допуска по среднему диаметру, $6g$ – поле допуска по наружному диаметру; $4H5H$ – поле допуска гайки, где $4H$ – поле допуска по среднему диаметру, $5H$ – поле допуска по внутреннему диаметру.

Если обозначение поля допуска диаметра выступов совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, то в обозначении поля допуска резьбы оно не повторяется. Обозначение поля допуска резьбы следует после обозначения его размера.

Резьбовые сопряжения обозначаются дробью, в числителе указывают поле допуска внутренней резьбы (гайки), а в знаменателе – поле допуска наружной резьбы (болта). Например, $M12-6H/6g$.

13. МЕТРОЛОГИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ЛЕКЦИЯ 16

Измерение и контроль. Классификация видов, средств и методов измерений. Краткая характеристика универсальных измерительных инструментов, приборов и автоматов. Средства активного контроля. Метрологические показатели средств измерений. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверка средств измерений. Выбор средств измерений.

13.1. Измерение и контроль.

Классификация видов, средств и методов измерений

Измерения являются одним из важнейших направлений в любой сфере деятельности человека. Потребность в многообразии различных измерений, их обеспечении, а также зачастую их сложность диктуют необходимость существования отдельной области научной деятельности – метрологии.

Основные термины и определения в области метрологии, рассматриваемые ниже, установлены РМГ 29 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения».

В соответствии с указанным документом метрология (от греч. «метро» – мера, «логос» – учение) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерение (величины) – процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине. Полученное значение величины и есть результат измерений. Таким образом, суть процесса измерения заключается в сравнении данной величины с однородной ей физической величиной, принятой за единицу. При этом результатом большинства измерений является количественная оценка величины (число) с соответствующим наименованием и в соответствующих единицах измерения.

Следует различать понятие «измерение» и понятие «контроль».

Контроль – измерительный процесс, состоящий в установлении годности изделия по контролируемому параметру. Результатом контроля является качественная оценка изделия. Например, «годное», «брак» и т. п.

Измерение всегда осуществляется на основе какого-либо физическо-го закона или эффекта, который рассматривают как принцип измерения.

Принцип измерений – явление материального мира, положенное в основу измерений (физическое явление или эффект).

Например, при измерении температуры с помощью термопары используют термоэлектрический эффект.

Область измерений – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой.

Например, механические, электрические и др.

Вид измерений – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

Например, измерения силы тока, электрического сопротивления или напряжения относятся к области электрических измерений.

Виды измерений. Более широкая трактовка видов измерений позволяет классифицировать их в зависимости от способа получения информации, характера изменений измеряемой величины в процессе измерений, количества измерительной информации и отношения к основным единицам.

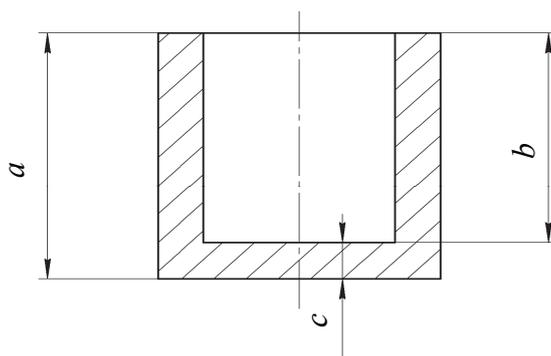
Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений. Иначе говоря, это непосредственное сравнение величины с ее мерой.

Например:

– измерение высоты a стакана (рисунок) линейкой. В данном случае производится сравнение искомой величины a (количественного выражения высоты стакана) с мерой, т. е. с линейкой;

– измерение массы на циферблатных весах;

– измерение температуры термометром.



Определение размеров стакана различными методами

Результат прямого измерения формально (без учета погрешности) может быть описан выражением

$$Q = x, \quad (13.1)$$

где Q – измеряемая величина; x – результат измерения.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной.

Формально зависимость величин при таком измерении можно представить выражением

$$Q = F(x, y, z, \dots), \quad (13.2)$$

где x, y, z, \dots – результаты прямых измерений.

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

Совместные измерения – проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними (x, y, z).

По сути совокупные и совместные измерения являются разновидностью косвенных измерений.

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

Относительное измерение – измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения.

Статическое измерение – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Динамическое измерение – измерение, при котором средства измерений используют в динамическом режиме (режиме использования средства измерений, связанного с изменениями условий (факторов) за время проведения измерительного эксперимента, которые влияют на результат измерения).

По числу повторных измерений одной и той же величины различают однократные и многократные измерения.

Однократное измерение – измерение, выполненное один раз.

Многократное измерение – измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений (более двух).

По реализованной точности и степени рассеяния результатов при многократном повторении измерений одной и той же величины

различают *равноточные* и *неравноточные, равнорассеянные* или *неравнорассеянные* (в данном пособии не рассматриваются).

В зависимости от планируемой точности бывают измерения *технические, метрологические* и *ориентировочные*.

Технические измерения – измерения, которые выполняются с заранее установленной точностью (погрешность технического измерения Δ не должна превышать заранее заданного допустимого значения $[\Delta]$):

$$\Delta \leq [\Delta]. \quad (13.3)$$

Метрологические измерения – измерения, которые выполняются с максимально достижимой точностью (при воспроизведении единиц с помощью эталонов, при выполнении исследований и т. д.). Погрешность измерения в таких случаях должна быть минимальной (при имеющихся ограничениях):

$$\Delta \rightarrow 0. \quad (13.4)$$

Ориентировочные измерения выполняют для приблизительной оценки неизвестной величины, когда точность не имеет принципиального значения. В этом случае допустимая погрешность $[\Delta]$ равна погрешности Δ , реализуемой в процессе измерений, т. е.

$$[\Delta] = \Delta. \quad (13.5)$$

Методы измерений. Измерения выполняются различными методами.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений.

Все многообразие методов измерений можно представить двумя группами: метод непосредственной оценки; методы сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки позволяет определить измеряемую величину непосредственно по показывающему средству измерений.

Например: линейный размер на шкале линейки; величина сопротивления проводника по отсчетному устройству омметра; температура на термометре.

Методы сравнения с мерой предполагают сравнение измеряемой величины с величиной, воспроизводимой мерой.

Примерами этого метода являются измерение массы на рычажных весах с использованием гирь (мер массы), измерение размера на микрокатере с использованием концевой меры.

Формально метод сравнения с мерой может быть описан следующим выражением:

$$Q = x + X_M, \quad (13.6)$$

где Q – измеряемая величина; x – показания средства измерения; X_M – величина, воспроизводимая мерой.

Разновидностями метода сравнения с мерой являются:

- дифференциальный и нулевой методы измерений;
- метод совпадений;
- метод измерений замещением и метод противопоставления;
- метод измерений дополнением.

Отличия между *дифференциальным* и *нулевым* методами заключаются в степени приближения размера, воспроизводимого мерой, к измеряемой величине.

Нулевой метод измерений – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до определенного физического эффекта (стробоскопический эффект, совпадение резонансных частот, другие эффекты).

Метод совпадений – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины оценивают, используя совпадение ее с величиной, воспроизводимой мерой (т. е. с фиксированной отметкой на шкале физической величины). Определение данного метода отсутствует в РМГ 29, но он часто приводится в метрологической литературе. Для оценки совпадения используют прибор сравнения (компаратор) или органолептику.

В зависимости от одновременности или неодновременности воздействия на прибор сравнения объекта измерения и меры различают метод измерений замещением и метод противопоставления.

Метод замещения – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины. Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов (метод Борда).

Метод противопоставления – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами. Данный метод реализуется при измерении массы на рычажных весах с использованием гирь.

Метод дополнения – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению. Метод дополнения может быть реализован как при замещении, так и при противопоставлении измеряемой величины

и меры. Пример использования такого метода – взвешивание на двухчашечных весах, при котором на чашку с измеряемым грузом помещают «дополнительные» меры массы для того, чтобы уравновесить перевешивающую чашку с «избыточной» массой гирь.

Контактный метод измерения характеризуется непосредственным соприкосновением измерительных поверхностей инструмента или прибора с деталью под определенным измерительным усилием. Этот метод отличается простотой и универсальностью, однако имеет ряд недостатков: наличие определенного усилия при измерении, ненадежность контакта вследствие неровностей контактирующих поверхностей и т. д. Все это вызывает дополнительные погрешности при измерении.

Бесконтактный метод измерения характеризуется отсутствием контакта между измерительными поверхностями инструмента или прибора с поверхностью измеряемой детали. Этот метод используется в оптических, пневматических, электрических, проекционных и других приборах.

13.2. Краткая характеристика универсальных измерительных инструментов, приборов и автоматов.

Средства активного контроля

Средства измерительной техники – технические средства, специально предназначенные для измерений. К ним относятся средства измерений, эталоны, измерительные системы, измерительные установки, измерительные принадлежности, средства сравнения, стандартные образцы и др. Средства измерительной техники можно классифицировать:

- по конструктивным признакам (меры, измерительные приборы, установки и измерительные системы);
- метрологическому назначению (эталонные, образцовые средства измерений, рабочие средства измерений);
- виду измеряемых физических величин (приборы для измерения длин, углов, скорости и т. д.);
- принципу действия (механические, оптические, пневматические и др.);
- по уровню точности (классам, разрядам).

Средства измерений – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики.

Эталонные – средства измерительной техники, предназначенные для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений.

Меры (материальные) – средства измерений, которые воспроизводят в процессе использования или постоянно хранят величины одного или более данных родов, с прописанными им значениями заданного размера физической величины. Меры различают однозначные, воспроизводящие физическую величину одного размера (например, концевые меры длины, угловые концевые меры, гири), и многозначные, воспроизводящие ряд одноименных величин различного размера (например, линейка с миллиметровыми делениями, транспортир, ступенчатый шаблон).

Образцовые средства измерений – меры, измерительные приборы и (или) преобразователи, служащие для поверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

Рабочие средства измерений предназначены для измерений, связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений, используются в производственных условиях для определения размеров деталей. Класс точности средства измерения – обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками средства измерения, влияющими на его точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Измерительный преобразователь – средство измерения или его часть, служащие для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Измерительные приборы – средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия.

Например, микрометр, вольтметр и др.

Измерительные установки – совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерений одной или нескольких величин.

Измерительные системы – совокупность средств измерений и других средств измерительной техники, размещенных в разных точках объекта измерения, функционально объединенных с целью измерений одной или нескольких величин, свойственных этому объекту.

Средства измерений могут быть стандартизированными и нестандарттизированными.

Стандартизированные средства измерений изготавливаются и применяются в соответствии с требованиями стандартов, проходят испытания и вносятся в Государственный реестр средств измерений.

Нестандартизированные средства измерений предназначены для решения конкретной специальной измерительной задачи, выпускаются в единичном экземпляре или небольшой серией и государственные испытания не проходят. Метрологические характеристики таких средств устанавливаются при их метрологической аттестации.

Универсальные измерительные приборы можно встретить в контрольно-измерительных лабораториях всех типов производств и в цехах единичных и мелкосерийных производств. Они бывают механические, оптические, пневматические, электрические.

Среди механических измерительных приборов можно выделить:

- простейшие инструменты – проверочные измерительные линейки, щупы, образцы шероховатости поверхности;
- штангенинструменты – штангенциркуль, штангенглубиномер, штангенрейсмас, штангензубомер;
- микрометрические инструменты – микрометр, микрометрический нутромер, микрометрический глубиномер;
- приборы с зубчатой передачей – индикаторы часового типа;
- рычажно-механические – миниметры, рычажные скобы, микрометры и т. п.

Представителями оптических измерительных приборов являются:

- вертикальные и горизонтальные оптиметры;
- инструментальные и универсальный микроскопы, проекторы, интерференционные приборы и др.

К электрическим измерительным приборам относятся: электроконтактные измерительные головки, индуктивные приборы, профилографы, профилометры и др.

Специальные измерительные приборы предназначены для измерения одного или нескольких параметров деталей определенного типа; например, приборы для измерения (контроля) параметров зубчатых колес, параметров резьб и т. п.

Кроме пассивного контроля (все измерительные операции после изготовления детали обеспечивают пассивный контроль), в машиностроении также применяют активный (технологический) контроль. Контроль деталей, выполняемый в процессе их обработки на станке специальными измерительными устройствами, является активным, т. е. управляющим технологическим процессом обработки заготовок.

К средствам активного контроля относятся:

- устройства, контролирующие заготовку непосредственно в процессе ее обработки на станке;
- подналадчики;
- блокировочные устройства;

– устройства, контролирующие заготовку перед обработкой на станке.

К устройствам, контролирующим заготовку непосредственно в процессе ее обработки на станке, относятся приборы, контролирующие размеры деталей, положение режущей кромки инструмента непосредственно в процессе обработки заготовки и через цепь обратной связи подающие команду на прекращение обработки при достижении заданных размеров деталей.

Подналадчики – это измерительные приборы, которые через цепь обратной связи производят подналадку станка или измерительного устройства, управляющего работой станка, когда величина контролируемого размера детали выходит за допустимые пределы. Подналадчики не определяют действительные размеры обрабатываемых деталей, но контролируют и поддерживают размеры обрабатываемых деталей в пределах заданного допуска на обработку.

Блокировочные устройства контролируют детали непосредственно после их обработки на станке. Если размеры деталей выходят за заданные пределы, то блокировочное устройство подает команду на прекращение обработки деталей на станке. Блокировка может производиться и в процессе обработки на станке, например, остановка станка при превышении допустимых значений сил и мощности резания.

Средства, контролирующие заготовки перед их обработкой, проверяют предельные габаритные размеры и не пропускают на станок заготовки, выходящие за допустимые размеры.

Современные измерительные приборы для активного контроля в основном применяются для контроля одного размера. Используют их для прямого и косвенного методов измерения.

13.3. Метрологические показатели средств измерений.

Государственная система обеспечения единства измерений

Возможности использования и точностные свойства средств измерений определяются их метрологическими характеристиками.

Метрологическая характеристика (средства измерений) – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений.

Для каждого типа средств измерения устанавливают свои метрологические характеристики.

Перечень нормируемых метрологических характеристик, правила выбора таких характеристик для средств измерений и способы их нормирования устанавливает ГОСТ 8.009. Наиболее важными из них с точки зрения выбора и использования средств измерений являются следующие.

Шкала прибора – часть средства измерения, представляющая собой упорядоченный набор меток вместе со значениями соответствующей величины.

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

Физически **цена деления шкалы (i)** означает изменение значения измеряемой величины, соответствующее перемещению указателя на одно деление шкалы прибора. Например, если перемещению указателя (стрелки) на одно деление шкалы, равное 1 мм, соответствует значение измеряемой величины 0,002 мм, то цена деления этого прибора $i = 0,002$ мм. Цена деления указывается на шкале прибора.

Диапазон показаний – область значений шкалы измерительного прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы (в некоторых областях используют термин *интервал показаний*). Он равен произведению цены деления на число делений шкалы.

Диапазон измерений (рабочий диапазон) – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерения или измерительной системой с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях. Этот диапазон ограничивается наименьшим и наибольшим значениями величины, которые могут быть измерены данным средством измерения (пределом измерения средства в целом).

Различие между пределами измерения шкалы и средства в целом рассмотрим на примерах.

У штангенциркуля с точностью отсчета 0,05 мм и пределами измерения в целом 0–200 мм диапазон показаний (длина шкалы) составляет 200 мм. В данном случае при наружных измерениях пределы измерения шкалы прибора и прибора в целом совпадают. В случае внутренних измерений пределы измерения шкалы остаются теми же, а пределы измерения прибора в целом уже другие – от 10 до 210 мм, так как губки для внутренних измерений имеют суммарную толщину 10 мм, а отверстия меньше этого размера измерить невозможно. При этом длина шкалы остается 200 мм.

У микрометров пределы измерения шкалы составляют 25 мм, а пределы измерения прибора в целом различные в зависимости от размера инструмента; они могут быть 0–25, 25–50, 50–75, 75–100 мм и т. д.

У индикаторов, миниметров, оптиметров и других подобных приборов, устанавливаемых на стойках, пределы измерения в целом значительно превосходят пределы измерения по шкале и определяются высотой стойки, в которой крепится прибор. Например, предел изме-

рения по шкале (*диапазон показаний*) вертикального оптиметра составляет $\pm 0,1$ мм, а предел измерения прибором в целом (*диапазон измерений*) – 0–200 мм.

Точность отсчета – точность, которая может быть достигнута при осуществлении отсчета с отсчетных устройств (если они имеются) на данном приборе в процессе измерения.

Точность отсчета определяется визуальной оценкой доли интервала деления шкалы, конструкции и качества выполнения отсчетного устройства, цвета поля шкалы и штрихов. Точность отсчета снижается с увеличением толщины штрихов шкалы, уменьшением интервала деления (*длина деления шкалы*) и увеличением цены деления, а также из-за явления параллакса (когда наблюдение ведется под некоторым углом к шкале).

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

Порог чувствительности (средства измерения) – наименьшее значение изменения величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством измерения.

Для механических преобразующих устройств (рычажных, зубчатых, пружинных) понятие «порог чувствительности» совпадает с понятием «передаточное отношение».

Передаточное отношение – это отношение длины деления шкалы к цене деления.

Например, при перемещении измерительного наконечника пружинной головки ИГП на величину цены деления 0,5 мкм указатель передвигается на одно деление шкалы, равное 1 мм. Чувствительность этого прибора (передаточное отношение) равно $1000 / 0,5 = 2000$.

Погрешность средства измерения – разность между показанием средства измерения и известным опорным (действительным) значением величины.

Измерительное усилие – усилие, создаваемое в месте контакта измерительного наконечника с поверхностью контролируемого изделия и направленное по линии измерения.

Государственная система обеспечения единства измерений – комплекс мер по государственному регулированию и управлению, государственному метрологическому надзору и метрологическому контролю, осуществляемых государственными органами, юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и иными физическими лицами в целях обеспечения единства измерений.

Результаты измерений, выполненные в системе обеспечения единства измерений, выражены в узаконенных единицах величин, имеют прослеживаемость до национальных и международных эталонов, гарантированную степень точности и достоверности и являются основанием для принятия решений в экономике, промышленности, науке, торговле, здравоохранении, охране окружающей среды, оценке и контроле продукции и природных ресурсов, обороне, безопасности, транспорте и связи и других отраслях.

Цели системы:

- обеспечение единства измерений как одного из важнейших элементов единого рынка продукции, работ и услуг Республики Беларусь;
- защита интересов населения и государства от последствий неточных и неправильных измерений;
- достоверный учет материальных, энергетических и природных ресурсов;
- совершенствование техники измерений в соответствии с уровнем технико-экономического развития;
- повышение качества товаров и услуг и обеспечение конкурентоспособности продукции;
- объективная и сопоставимая оценка параметров среды обитания;
- достижение доверия к результатам измерений при проведении поверки, калибровки, испытаний.

Государственная система обеспечения единства измерений решает широкий спектр задач:

- разработка научно-методических, правовых и организационных основ системы;
- организация и проведение научных исследований по использованию новейших достижений науки и техники с целью создания и совершенствования методов и средств измерений высшей точности и определения значений физических констант;
- стандартизация основных положений, правил, требований и норм системы;
- установление допускаемых к применению единиц величин;
- создание, утверждение, ведение, хранение и сличение национальных и исходных эталонов Республики Беларусь;
- установление единого порядка передачи размеров единиц величин от эталонов другим средствам измерений;
- установление требований к метрологическим характеристикам средств измерений;
- установление общих требований к аттестации испытательного оборудования;

- установление порядка и проведение метрологической аттестации методик выполнения измерений, разработка методик оценивания погрешностей (неопределенностей) измерений и обеспечения требуемой точности;
- проведение метрологической экспертизы конструкторской, технологической, проектной и программной документации, научно-технических программ и многих других.

13.4. Поверка средств измерений. Выбор средств измерений

Согласно ТКП 8.003-2011 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила проведения работ», поверка средств измерений – составная часть метрологического контроля, включающая выполнение работ, в ходе которых подтверждаются метрологические характеристики средств измерений и определяется соответствие средств измерений требованиям законодательства Республики Беларусь об обеспечении единства измерений.

Виды поверок:

- первичная – при выпуске из производства или ремонта, а также средств измерений, поступающих по импорту;
- периодическая – через определенные интервалы времени, установленные с расчетом обеспечения пригодности средств измерений к применению на период между поверками;
- внеочередная – для выявления пригодности средств измерений к применению;
- инспекционная – для выявления пригодности средств измерений к применению при осуществлении госнадзора и ведомственного метрологического контроля над состоянием и применением средства измерения;
- экспертная – при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам, исправности средства измерения и пригодности его к применению.

Сроки периодических поверок устанавливаются и корректируются метрологическими подразделениями предприятий, организаций и учреждений, эксплуатирующих средства измерений в соответствии с графиком, утвержденным руководителем предприятия.

Методы поверки средств измерений:

- без использования компаратора (прибора сравнения), т. е. непосредственным сличением поверяемого средства измерения с образцовым средством измерения того же вида;
- сличением поверяемого средства измерения с образцовым средством измерения того же вида с помощью компаратора;
- прямым измерением поверяемым измерительным прибором величины, воспроизводимой образцовой мерой;

– прямым измерением образцовым измерительным прибором величины, воспроизводимой подвергаемой поверке мерой;

– косвенным измерением величины, воспроизводимой мерой или измеряемой прибором, подвергаемым поверке.

Выбор средств измерений. Выбор средств измерений не только имеет важное значение для обеспечения точности изготовления, но и влияет на производительность процесса измерений, изготовления и сборки изделий и тем самым способствует снижению себестоимости.

При выборе средств измерений необходимо учитывать ряд факторов, основными из которых являются: точность изготовления, метод контроля и его точность, объем одноименных изделий, конструктивные особенности детали, стоимость измерительного средства, его производительность, время настройки, квалификация контролера и т. д. При этом следует иметь в виду, что однотипным измерительным средством можно выполнять измерения с различной погрешностью в зависимости от выбранного метода измерения, при этом необходимо оценивать возможные предельные погрешности измерения.

При выборе средств измерения необходимо стремиться:

– к возможно более строгому ограничению действительных размеров контролируемых объектов установленными для них пределами;

– возможно большему расширению производственных допусков, остающихся за вычетом погрешностей измерения;

– наибольшему снижению затрат на измерительные средства и на содержание органов технического контроля.

Процедура выбора измерительных средств заключается последовательно: в выборе организационно-технической формы контроля; определении типа производства; выборе типа контрольно-измерительных средств, в зависимости от масштаба производства, принятых организационно-технических форм контроля и конструктивных особенностей детали; выборе измерительных средств в зависимости от точности контролируемой детали.

Различают среди организационно-технических форм контроля пассивные и активные.

Тип производства устанавливает вид контрольно-измерительных средств, применение которых является экономически наиболее целесообразным, обеспечивает требуемую производительность труда на каждой контрольной операции и в конечном итоге определяет уровень механизации контроля.

В индивидуальном и мелкосерийном производствах используются универсальные измерительные средства.

В серийном производстве контроль осуществляют жесткими предельными калибрами, шаблонами, специализированными контрольными приспособлениями, а также универсальными измерительными средствами.

В массовом производстве продукция контролируется специальными механизированными устройствами и предельными калибрами.

Конструктивные и другие особенности деталей (форма, габариты, масса, материал и т. п.) также влияют на выбор средств измерения для их контроля.

Например, размеры массивных деталей контролируют переносными измерительными приборами, а небольших – стационарными. Тонкостенные детали (втулки, гильзы, тонкостенные оболочки) и детали из легких сплавов или неметаллических материалов рекомендуется контролировать измерительными приборами с небольшим измерительным усилием или приборами, работающими по бесконтактному методу измерений.

Одним из решающих факторов, влияющих на выбор средств измерения, является точность изготовления деталей. Для этого необходимо оценить допускаемую погрешность измерения, а также определить положение приемочных границ, т. е. установить значения размеров деталей, по которым следует проводить их приемку.

Следует иметь в виду, что погрешность измерения является совокупным результатом, состоящим из погрешностей средства измерения, отсчета показаний, настройки средства измерения, базирования детали и средства измерения, температурной погрешности и т. д. При этом на все из них, кроме погрешности непосредственно средства измерения, при проведении измерений можно повлиять. В связи с этим погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях, является *основной погрешностью*, а остальные – *дополнительной*. Исходя из этого нормируемые допускаемые погрешности измерения должны быть исходными при выборе средств измерений.

Выбор конкретных средств измерений. Для установления единых требований при выборе средств измерений ГОСТ 8.051 регламентирует пределы допускаемых погрешностей при измерениях и контроле линейных размеров изделий от 1 до 500 мм.

Для проведения измерений с погрешностями, не превышающими допускаемые по ГОСТ 8.051 значения, необходимо иметь сведения о значениях погрешностей измерения различными измерительными средствами в различных условиях их применения. Такие сведения для серийно выпускаемых измерительных средств приведены в РД 50–98.

Используемые средства измерения должны быть аттестованы в соответствии с действующими положениями.

14. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СТАНДАРТИЗАЦИИ

ЛЕКЦИЯ 17

Понятия «стандартизация» и «стандарт». Цели и задачи стандартизации. Категории стандартов и объекты стандартизации. Виды стандартов. Стандарты и общетехнические нормы, термины и обозначения. Основные методы стандартизации. Понятие о параметрических и размерных рядах. Комплексная и опережающая стандартизация. Основные положения о комплексных межотраслевых системах стандартов продукции. Роль стандартизации и взаимозаменяемости в повышении качества изделий и экономичности производства.

Стандартизация – деятельность по установлению технических требований в целях их всеобщего и многократного применения в отношении постоянно повторяющихся задач, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в области разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказания услуг.

Сущность стандартизации.

Стандартизация необходима для решения систематически повторяющихся производственных задач. Так как существует множество вариантов такого решения, необходимо выбирать наиболее эффективный, позволяющий экономить время и средства.

Созданная в республике новая система стандартизации базируется на правовых основах, установленных Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации». Закон предусматривает двухуровневую систему нормативных документов: технических регламентов, содержащих обязательные требования, и стандартов, содержащих добровольные требования.

Система технического нормирования и стандартизации – совокупность технических нормативных правовых актов (ТНПА) в области технического нормирования и стандартизации, субъектов технического нормирования и стандартизации, а также правил и процедур функционирования системы в целом.

Техническое нормирование – деятельность по установлению обязательных для соблюдения технических требований, связанных с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг.

Цели технического нормирования и стандартизации:

- защита жизни, здоровья и наследственности человека, имущества и охраны окружающей среды;
- повышение конкурентоспособности продукции (услуг);
- техническая и информационная совместимость, а также взаимозаменяемость продукции;
- единство измерений;
- национальная безопасность;
- устранение технических барьеров в торговле;
- рациональное использование ресурсов.

Принципы технического нормирования и стандартизации:

- обязательность применения технических регламентов;
- доступность технических регламентов, технических кодексов и государственных стандартов, информации о порядке их разработки, утверждения и опубликования для пользователей и иных заинтересованных лиц;
- приоритетное использование международных и межгосударственных (региональных) стандартов;
- использование современных достижений науки и техники;
- обеспечение права участия юридических и физических лиц, включая иностранные, и технических комитетов по стандартизации в разработке технических кодексов, государственных стандартов;
- добровольное применение государственных стандартов.

Обычно выделяют 4 этапа организации работ по стандартизации.

1. ***Отбор объектов стандартизации.*** Если существует определенная совокупность объектов и действий с ними, то некоторые из них могут повторяться систематически. Например, измерения определенного параметра. Таким образом, для стандартизации подходят повторяющиеся процессы или объекты.

2. ***Моделирование объекта стандартизации.*** Следует учитывать, что процессу стандартизации подвергаются не сами объекты, а информация о них, отображающая их существенные стороны (признаки, свойства), т. е. абстрактная модель реального объекта. Например, для измерения это могут быть приборы, реактивы, методика взятия проб и т. д.

3. ***Оптимизация модели.*** Задача стандартизации – унифицировать метод или процесс, отобрав наилучший вариант. Оптимальное решение достигается общенаучными и специфическими методами стандартизации. В результате таких преобразований формируется оптимальная модель стандартизируемого объекта.

4. ***Стандартизация модели.*** На заключительном этапе осуществляется собственно стандартизация или разработка нормативного документа на базе унифицированной модели.

Результатом стандартизации являются технические нормативно-правовые акты (ТНПА).

Согласно Закону «О техническом нормировании и стандартизации», используются следующие основные термины и их определения.

Объекты технического нормирования, объекты стандартизации – продукция, процессы ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказание услуг.

Технические требования – технические нормы, правила, характеристики и (или) иные требования к объектам технического нормирования или стандартизации.

Безопасность продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг – соответствие продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг техническим требованиям, предусматривающим отсутствие недопустимого риска причинения вреда жизни, здоровью и наследственности человека, имуществу и окружающей среде.

Нормативные документы в области стандартизации. В соответствии с новой системой технического нормирования и стандартизации к техническим нормативным правовым актам в области технического нормирования и стандартизации относятся:

- **технические регламенты (ТР);**
- **технические кодексы установившейся практики (ТКП);**
- **стандарты;**
- **технические условия (ТУ).**

Технический регламент – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе технического нормирования, устанавливающий непосредственно и (или) путем ссылки на технические кодексы установившейся практики и (или) государственные стандарты Республики Беларусь, обязательные для соблюдения технические требования, связанные с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг.

Технический кодекс установившейся практики (далее – технический кодекс) – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации, содержащий основанные на результатах установившейся практики технические требования к процессам разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказанию услуг.

Стандарт – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации на основе согласия большинства заинтересованных субъектов технического нормирования и стандартизации и содержащий технические требования к продукции, процессам ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказанию услуг.

Технические условия – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации, утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем и содержащий технические требования к конкретным типу, марке, модели, виду реализуемой ими продукции или оказываемой услуге, включая правила приемки и методы контроля.

Гармонизация стандарта – приведение его содержания в соответствие с другими стандартами для обеспечения взаимозаменяемости продукции (услуг), однозначного взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах. В той же степени гармонизация может быть отнесена к техническим регламентам.

Идентичные стандарты – гармонизированные стандарты, полностью идентичные по содержанию и форме. Введенный национальный стандарт может отличаться от международного только обозначением (шифром, кодом).

В зависимости от содержания или области распространения стандартов их делят на **виды и категории**.

Категория определяется уровнем утверждения стандарта.

Международный стандарт – стандарт, утвержденный (принятый) международной организацией по стандартизации.

Межгосударственный (региональный) стандарт – стандарт, утвержденный (принятый) межгосударственной (региональной) организацией по стандартизации.

Государственный стандарт Республики Беларусь (далее – государственный стандарт) – стандарт, утвержденный Комитетом по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров Республики Беларусь, а в области архитектуры, градостроительства и строительства – Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь.

Стандарт организации – стандарт, утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем.

Виды стандартов определяются их содержанием.

Различают **общетехнические и организационно-методические стандарты**, которые либо образуют отдельные системы, либо являются самостоятельными нормативными документами (НД). Примерами общетехнических и организационно-методических стандартов

разных видов можно считать стандарты единиц физических величин, терминологические стандарты, стандарты норм точности геометрических параметров и т. д.

Стандарты, относящиеся к определенной продукции и к технологическим процессам, подразделяются на следующие виды.

Стандарты технических условий устанавливают всесторонние технические требования к продукции при ее изготовлении, поставке, использовании (эксплуатации); правила приемки; методы проверки ее качества; требования к маркировке, упаковке, хранению и транспортированию, комплексности, а также гарантии поставщика. Этот вид стандартов является наиболее полным для сложных изделий.

Стандарты, устанавливающие требования к конкретным видам продукции, содержат дополнительные данные, относящиеся только к этим видам изделий, со ссылкой на стандарты технических условий.

Стандарты технических требований устанавливают для определенного вида продукции основные потребительские требования, показатели и нормы, характеризующие эксплуатационные свойства стандартизируемой продукции. В зависимости от вида и назначения могут устанавливаться требования к надежности продукции, требования технической эстетики и эргономики, требования к физико-механическим свойствам (прочность, износостойчивость и т. д.). Стандарт, устанавливающий технические требования, общие для группы продукции, называется стандартом общих технических требований. Таким образом, стандарты технических требований устанавливают определенный уровень требований, прежде всего к качеству.

Стандарты типов и основных параметров (размеров) устанавливают типы стандартизируемой продукции в зависимости от их основных свойств, а также основные параметры (размеры), характеризующие эти типы продукции. Стандарты типов должны учитывать перспективы развития данного вида изделий и содержать не только освоенные, но и подлежащие к освоению типы изделий.

Стандарты параметров (размеров) устанавливают параметрические или размерные ряды продукции по основным потребительским (эксплуатационным) характеристикам, на базе которых должна проектироваться продукция конкретных типов, моделей, марок.

Стандарты конструкции и размеров устанавливают конструктивные исполнения и основные размеры для определенной группы изделий в целях их унификации и обеспечения взаимозаменяемости при разработке конкретных типоразмеров, моделей и т. п.

Стандарты сортамента устанавливают геометрические формы, размеры продукции (полуфабрикатов).

Стандарты марок устанавливают номенклатуру марок материалов (сырья), их химический состав, потребительские (эксплуатационные) свойства, методы их контроля. Стандарты марок выпускают на сырье и материалы, которые поставляются потребителям только в виде продукции определенного сортамента. Стандартизация марок материала направлена на сокращение многообразия марок до целесообразного минимума.

Стандарты правил приемки устанавливают порядок приемки определенной группы или вида продукции в целях обеспечения единства при приемке этой продукции по качественным и количественным показателям.

Стандарты методов испытаний устанавливают порядок отбора проб (образцов) для испытаний (контроля, анализа, измерений) потребительских характеристик определенной группы продукции в целях обеспечения единства оценки показателей качества.

Стандарты правил маркировки, упаковки, хранения и транспортировки устанавливают требования к потребительской маркировке продукции с целью информирования потребителя об основных характеристиках продукции, требования к упаковке с учетом технической эстетики и т. п.

Стандарты правил эксплуатации и ремонта устанавливают общие правила, обеспечивающие в заданных условиях работоспособность изделий и гарантирующие их эксплуатационные характеристики.

Стандарты типовых технологических процессов устанавливают способы, последовательность и технические средства выполнения и контроля технологических операций изготовления определенного вида продукции с целью внедрения прогрессивной технологии производства и обеспечения единого уровня качества выпускаемой продукции.

Стандарты на методы и средства поверки мер и измерительных приборов устанавливают методику наиболее эффективного проведения поверок мер и приборов с указанием средств поверки, обеспечивающих требуемую точность.

Системы стандартов.

В качестве межгосударственных по принятому в СНГ соглашению установлены стандарты с аббревиатурой ГОСТ. Они включают ряд формализованных систем с индексацией типа ГОСТ 8.063. Первое число означает номер системы, которой принадлежит стандарт. Номер системы отделяется от номера подсистемы или конкретного стандарта точкой. Аналогичный подход принят и в Республике Беларусь. Например, СТБ 941.6. Системы стандартов не равны по объему, что определяется числом цифр после номера системы: одни содержат до десятка стандартов, другие – сотни. Некоторые системы включают в себя подсистемы.

Методы стандартизации.

Метод стандартизации – это прием или совокупность приемов, с помощью которых достигаются цели стандартизации.

Методы: упорядочение объектов стандартизации; систематизация; селекция объектов стандартизации; симплификация; типизация объектов стандартизации; оптимизация объектов стандартизации; параметрическая стандартизация; унификация продукции; агрегатирование; комплексная стандартизация; опережающая стандартизация.

Упорядочение объектов стандартизации – это универсальный метод в области стандартизации продукции, процессов и услуг. Упорядочение, прежде всего, означает сокращение разнообразия.

Результатом работ по упорядочиванию являются ограничительные перечни комплектующих изделий для конечной готовой продукции. В свою очередь, упорядочивание, как универсальный метод, состоит из отдельных методов.

Систематизация – систематизация объектов стандартизации заключается в научно обоснованном последовательном ранжировании и классифицировании совокупности конкретных объектов стандартизации. *Систематизация исключает неоднозначности, которые могут привести к конфликтной ситуации. Примером систематизации продукции является классификатор промышленной и сельскохозяйственной продукции.*

Селекция объектов стандартизации – это деятельность, заключающаяся в отборе таких конкретных объектов, которые признаются целесообразными для дальнейшего производства и применения в общественном производстве.

Симплификация – деятельность, заключающаяся в определении таких конкретных объектов, которые признаются нецелесообразными для дальнейшего производства и применения в общественном производстве, и последующем сокращении их многообразия.

Процессы селекции и симплификации осуществляются параллельно. Им предшествуют процесс классификации и ранжирования объектов и специальный анализ перспективности и сопоставления объектов с будущими потребностями. **Типизация объектов стандартизации** – деятельность по созданию типовых (образцовых) объектов-конструкций, технологических правил, форм документации.

В отличие от селекции, на этом этапе отобранные конкретные объекты подвергают определенным техническим преобразованиям, направленным на повышение их качества и универсальности. Например, сокращение многообразия моделей телевизоров в соответствии с размером экрана по диагонали. В каждом варианте, в свою очередь, были ото-

браны наиболее удачные схемы, которые затем усовершенствовались с целью повышения надежности и ремонтпригодности телевизоров.

Оптимизация объектов стандартизации заключается в нахождении главных оптимальных параметров (параметров назначения), а также значений всех других показателей качества и экономичности.

Целью оптимизации является достижение оптимальной степени упорядочения и максимально возможной эффективности по выбранному критерию.

Параметрическая стандартизация. Параметр продукции – это количественная характеристика ее свойств. Наиболее важными параметрами являются характеристики, определяющие назначение продукции и условия ее использования: размерные параметры (размер одежды, обуви, емкость посуды); весовые параметры (масса отдельных видов инвентаря); параметры, характеризующие производительность машин и приборов (скорость движения); энергетические параметры (мощность двигателя).

Набор установленных значений параметров называется *параметрическим рядом*. Разновидностью параметрического ряда является *размерный ряд*. Каждый размер одного типа называется **типоразмером**.

Процесс стандартизации параметрических рядов заключается в выборе и обосновании целесообразной номенклатуры и численного значения параметров. Параметрические ряды машин, приборов, тары рекомендуется строить согласно системе предпочтительных чисел, изменяющихся в геометрической прогрессии.

Таким образом, при выборе номинальных значений из ряда предпочтительных чисел значительно легче согласуются между собой изделия, предназначенные для работы в одной технологической цепочке.

Унификация продукции – это деятельность по рациональному сокращению числа типов деталей, агрегатов одинакового функционального назначения. Она базируется на классификации и ранжировании, селекции и симплификации, типизации и оптимизации элементов готовой продукции.

Основными направлениями унификации являются:

- разработка параметрических и типоразмерных рядов изделий, машин, оборудования, приборов, узлов и деталей;
- разработка типовых изделий в целях создания унифицированных групп однородной продукции;
- разработка унифицированных технологических процессов, включая технологические процессы для специализированных производств продукции межотраслевого применения;
- ограничение целесообразным минимумом номенклатуры разрешаемых к применению изделий и материалов.

Результатами работ по унификации могут быть альбомы типовых (унифицированных) конструкций деталей, узлов, сборочных единиц; стандарты типов, параметров и размеров, конструкций, марок и др.

Степень унификации характеризуется уровнем унификации продукции – насыщенностью продукции унифицированными, в том числе стандартизированными, деталями, узлами и сборочными единицами.

Агрегатирование – это метод создания машин, приборов и оборудования из отдельных стандартных унифицированных узлов, многократно используемых при создании различных изделий на основе геометрической и функциональной взаимозаменяемости. Например, применение в мебельном производстве щитов 15 размеров и стандартных ящиков 3 размеров позволяет получить при различной комбинации этих элементов 52 вида мебели. Агрегатирование очень широко применяется в машиностроении, радиоэлектронике.

В настоящее время на повестке дня стоит переход к производству техники на базе крупных агрегатов – модулей. Модульный принцип широко распространен в радиоэлектронике и приборостроении; это основной метод создания гибких производственных систем и робототехнических комплексов.

Комплексная стандартизация. При комплексной стандартизации осуществляется целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимосвязанных требований как к самому объекту комплексной стандартизации в целом, так и к его основным элементам в целях оптимального решения конкретной проблемы. ***Применительно к продукции – это установление и применение взаимосвязанных по своему уровню требований к качеству готовых изделий и необходимых для их изготовления сырья, материалов и комплектующих узлов, а также условий сохранения и потребления (эксплуатации).***

Опережающая стандартизация. Метод опережающей стандартизации заключается в установлении повышенных по отношению к уже достигнутому на практике уровню норм и требований к объектам стандартизации, которые, согласно прогнозам, будут оптимальными в последующее время.

Для того чтобы стандарты не тормозили технический прогресс, они должны устанавливать перспективные показатели качества с указанием сроков их обеспечения промышленным производством.

Опережающие стандарты должны стандартизировать перспективные виды продукции, серийное производство которых еще не начато или находится в начальной стадии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Допуски и посадки: справочник: в 2 ч. / под ред. М. А. Палей. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч. 1. – 576 с.
2. Допуски и посадки: справочник: в 2 ч. / под ред. М. А. Палей. – СПб.: Политехника, 2001. – Ч. 2. – 608 с.
3. Соломахо, В. Л. Нормирование точности и технические измерения / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович, С. С. Соколовский. – Минск: Изд-во Гревцова, 2011. – 360 с.
4. Никифоров, А. Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А. Д. Никифоров. – М.: Высшая школа, 2003. – 510 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
1. Введение. Основные понятия о качестве, точности и взаимозаменяемости	4
2. Основные понятия о размерах и соединениях.....	13
3. Нормирование точности гладких цилиндрических соединений. Система допусков и посадок.....	21
4. Методы и средства контроля гладких цилиндрических поверхностей.....	31
5. Нормирование точности формы и взаимного расположения поверхностей. Волнистость и шероховатость поверхностей	37
6. Классификация и характеристика погрешностей обработки...	63
7. Характеристика, расчет и выбор посадок	70
8. Нормирование точности соединений с подшипниками качения. Система допусков и посадок подшипников качения.....	80
9. Нормирование точности угловых размеров и гладких конических соединений	84
10. Точность размеров, входящих в размерные цепи	90
11. Нормирование точности шпоночных и шлицевых соединений и их контроль.....	96
12. Нормирование точности резьбовых соединений и их контроль.....	102
13. Метрология, технические измерения	109
14. Основные понятия о стандартизации	124
Литература	133

Учебное издание

Сурус Анатолий Иванович
Блохин Алексей Владимирович

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Конспект лекций

Редактор *Р. М. Рябая*
Компьютерная верстка *А. А. Селиванова*
Корректор *Р. М. Рябая*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.