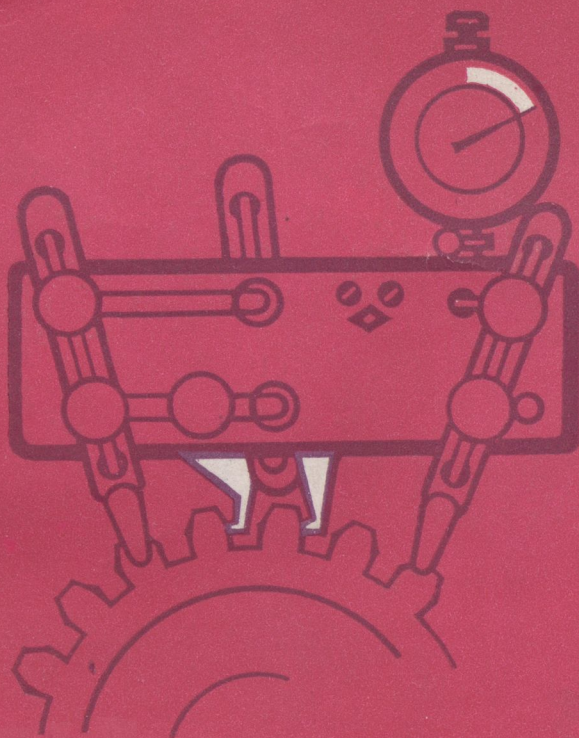




А. Н. ЖУРАВЛЕВ

ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



А. Н. ЖУРАВЛЕВ

ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ИЗДАНИЕ СЕДЬМОЕ,
ИСПРАВЛЕННОЕ

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-
техническому образованию
в качестве учебника
для средних
профессионально-технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1981

ББК 30.10
6П5.2
Ж91

Рецензент — инж. Г. М. Ганевский



Scan AAW

Журавлев А. Н.

Ж91 Допуски и технические измерения: Учебник для сред. проф.-техн. училищ.— 7-е изд., испр.— М.: Высш. школа, 1981.— 256 с., ил.— (Профтехобразование. Допуски и технические измерения).

30 к.

В книге приведены сведения о сущности взаимозаменяемости и технических измерений в машиностроении, изложены системы допусков и посадок на различные виды соединений, описаны наиболее распространенные средства измерений линейных и угловых величин, освещены вопросы механизации и автоматизации контроля размеров. Дано понятие о теории вероятности и ее применении при расчете допусков, погрешностей измерений и регулировании технологических процессов для получения продукции заданного качества.

Книга может быть использована молодыми рабочими для повышения квалификации.

Ж $\frac{30103-092}{052(01)-81}$ 5-81

2103000000

6П5.2
ББК 30.10

© Издательство «Высшая школа», 1978
© Издательство «Высшая школа», 1981, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Систематическое повышение качества продукции является обязательным требованием развития экономики.

Вопросы допусков, посадок и технических измерений непосредственно связаны с качеством машин, надежностью их в работе, долговечностью. Поэтому современная организация и техническое оснащение производственных процессов на заводах требуют, чтобы при изготовлении деталей и сборке машин квалифицированные рабочие наравне с мастерами, наладчиками и технологами правильно ориентировались в вопросах допусков и посадок и технических измерений, понимали назначение и построение государственных и отраслевых стандартов на допуски и посадки основных соединений деталей (гладких, резьбовых, зубчатых) и знали условные обозначения, встречающиеся на чертежах и в технологических картах.

Квалифицированный рабочий должен хорошо владеть основами технических измерений, т. е. иметь представление о единицах измерений и их исходных эталонах, единстве мер и организации поверки измерительных средств; принципах действия наиболее распространенных измерительных средств и их метрологических показателях; источниках и причинах неизбежных погрешностей измерений и способах определения их; методике выбора измерительных средств на основе сопоставления возможных погрешностей измерений с величинами допусков измеряемых деталей; новых измерительных средствах отечественного производства и современных направлениях в их развитии; механизации и автоматизации процессов измерений.

При составлении учебника учитывались особенности отдельных профессий, сроки подготовки учащихся и раз-

личная общеобразовательная подготовка их (8 и 10 классов). При этом предполагалось, что содержание отдельных параграфов в полном виде будет использовано только учащимися тех профессий, которым больше всего оно необходимо в их практической работе. Например, сведения по гладким, коническим поверхностям — токарями и слесарями; сведения по зубчатым зацеплениям и шлицевым соединениям — фрезеровщиками; сведения по условиям выбора посадок и размерным цепям — слесарями-сборщиками и т. д.

Автор стремился относительно сложные термины и определения, содержащиеся в стандартах (по шероховатости поверхностей, нормам точности зубчатых колес, отклонениям формы и расположения поверхностей, взаимосвязи параметров резьбы, новым единицам измерений и др.), изложить по возможности просто. Но в ряде случаев это оказалось невозможным, так как изложение основных определений в упрощенном виде могло бы исказить требования стандартов, имеющих силу закона.

При изложении вопросов по техническим измерениям не ставилась задача научить учащихся приемам пользования всеми описываемыми измерительными средствами. Эти приемы быстрее и легче будут освоены на практических занятиях.

В учебнике приведены примеры правильных и неправильных приемов использования только наиболее распространенных цеховых измерительных средств.

В седьмое издание книги включены сведения по допускам и посадкам на различные виды соединений из Единой системы допусков и посадок для стран — членов СЭВ (ЕСДП — СЭВ).

Для решения задач по посадкам и расчета исполнительных размеров калибров в приложении II и III приведены справочные данные по допускам на гладкие соединения и калибры из стандартов СЭВ и ОСТ.

Глава I

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗМЕРАХ И СОПРЯЖЕНИЯХ В МАШИНОСТРОЕНИИ

§ 1. Решения КПСС и Советского правительства о повышении качества промышленных изделий

Качество продукции — это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением (ГОСТ 15467—70).

Систематическое повышение качества продукции является обязательным требованием развития экономики — так записано в Программе КПСС. Высокое качество — это сбережение труда и материальных ресурсов, рост экспортных возможностей, а главное — более полное удовлетворение потребностей общества.

Повышению качества изделий уделяется большое внимание во всех промышленных странах мира и уровень качества стал важнейшим показателем в экономическом соревновании многих стран. В ряде стран введены государственные аттестации качества продукции под девизом «Качество — национальная гордость». Четверть века существует Европейская организация по контролю качества продукции (ЕОКК), в которую на правах добровольного членства входят свыше 20 стран, в том числе и СССР.

Слова «качество и эффективность» стали девизом всей хозяйственной деятельности в СССР и лозунг «дать продукции больше, лучшего качества, с меньшими затратами» стал основным в социалистическом соревновании на предприятиях.

В целях стимулирования повышения качества продукции в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 4/X.65 г. предусмотрена государственная аттестация качества промышленной продукции.

Выпускаемая предприятиями продукция аттестуется по трем категориям: высшей, первой и второй. Продукции высшей категории качества присваивается государственный Знак качества (рис. 1), который как бы информирует потребителя о том, что изделие с этим знаком

имеет гарантированные высокие показатели, не уступающие высшему мировому уровню. Форма и размеры знака определены ГОСТ 1.9—67.



Рис. 1. Знак качества

Качество промышленной продукции (например, машин и приборов) зависит от многих условий и прежде всего от качества труда рабочего, используемых материалов, технологических процессов изготовления и сборки, организации и условий труда.

Качество труда определяется выполнением требований: к точности изготовления деталей по размерам и их геометрической форме; к точности сборки изделия, к

правильному выбору методов контроля и измерительных средств, обеспечивающих заданную точность обработки и сборки. Чтобы выполнить эти требования, нужны опыт работы и знания о погрешностях обработки и измерений,

§ 2. Понятия о погрешностях изготовления и измерения деталей

Любую машину или прибор собирают из отдельных сборочных единиц (узлов) и деталей. В соединении двух деталей, входящих одна в другую, различают отверстие и вал (рис. 2).

Отверстие и вал — термины, применяемые для обозначения соответственно внутренних (охватывающих 1) и наружных (охватываемых 2) элементов деталей не только цилиндрических (рис. 2, а), но и плоских с параллельными плоскостями (паз, шпонка и др. — рис. 2, б).

При обработке невозможно получить абсолютно точно заданный размер не только у ряда изготовленных деталей, но даже и у одной детали в разных сечениях. Это объясняется тем, что на процесс обработки влияют многочисленные причины, вызывающие отклонения размеров детали и ее геометрической формы. Основными

источниками появления отклонений от заданных размеров и формы изделий являются: неточность изготовления оборудования (станков, прессов и т. д.), приспособлений для обработки и режущих инструментов и степень изношенности их; неоднородность заготовок для деталей по размерам, форме, механическим свойствам; неточность базирования заготовок и их неправильное

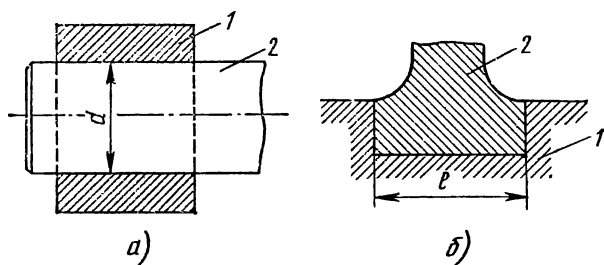


Рис. 2. Соединение двух деталей:
а — гладкое цилиндрическое, *б* — плоское; элементы: *1* — охватывающие, *2* — охватываемый

закрепление в приспособлениях; температурные влияния, приводящие к изменению размеров обрабатываемых заготовок, а также отдельных частей оборудования, приспособлений или режущих инструментов; упругие деформации деталей оборудования, приспособлений, режущих инструментов и изготавливаемых изделий; отклонения от установленных режимов обработки (скоростей, подач, глубин резания и др.); вибрации фундамента, на котором установлено оборудование, и т. д..

При составлении чертежа детали конструктор устанавливает, исходя из условий работы, ее размер, называемый номинальным (d) и служащий началом отсчета отклонений. Для деталей, составляющих соединение, номинальный размер является общим для отверстия и вала.

Учитывая погрешности обработки, конструктор указывает в чертежах не один размер, а два предельно допустимых размера, больший из которых называется наибольшим, а меньший — наименьшим предельными размерами ($d_{\text{нб}}$ и $d_{\text{нм}}$). Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами

называется допуском на обработку или допуском, обозначаемым T :

$$T = d_{\text{но}} - d_{\text{нм}}.$$

Следовательно, допуск показывает как бы разрешенную погрешность обработки, заранее предусмотренную и отраженную в чертеже детали. В этом случае годными и взаимозаменяемыми будут такие детали, у которых размер, получившийся после обработки, находится в пределах допуска.

Правильность получения размеров при обработке проверяется их измерением. Измерить размер — значит сравнить его значение с величиной, принятой за единицу. Для линейных размеров единицей измерения является метр. Широко применяются его дольные части в виде миллиметра — мм (одна тысячная) и микрометра — мкм (одна миллионная).

Все инструменты и приборы, применяемые для измерений, имеют общее название — измерительные средства. При измерениях возможны погрешности и поэтому абсолютно точно определить размер детали невозможно.

Погрешностью измерения называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Погрешность измерения могут вызвать: погрешности, вносимые установочными мерами и образцами, неточности измерительного средства или изношенность его отдельных частей; температурные влияния (например, если при измерении температура инструмента и детали была разная); ошибки, связанные с опытом и навыками человека, который проводит измерение, чувствительностью его рук, остротой зрения и т. д.

Необходимо помнить, что при повышении температуры размеры увеличиваются, а при понижении, т. е. охлаждении деталей, уменьшаются. Отклонения и допуски, устанавливаемые в чертежах, относятся к деталям, размеры которых определены СТ СЭВ 145—75 при нормальной температуре, равной 20 °С.

Учитывая погрешности измерения, на производстве пользуются кроме понятий номинального и предельных размеров еще понятием действительного размера.

Действительным размером называется размер, полученный в результате измерения с допустимой

погрешностью. Для годных деталей действительный размер должен быть не больше наибольшего и не меньше наименьшего допускаемых предельных размеров.

Следовательно, чтобы детали по размерам были годными, их нужно правильно изготовить по размерам с заданными допусками, а чтобы убедиться в этом, необходимо еще правильно выбрать измерительное средство для измерения и правильно измерить.

Конструктор при проектировании машин стремится к более точному выполнению заданных размеров и для него желательно, чтобы допуски на обработку были наименьшими. При небольших допусках на обработку точнее будет сборка по различным соединениям машин, надежней обеспечивается выполнение машиной заданных функциональных показателей работы: надежности, скорости, мощности, производительности, грузоподъемности и др. Большие допуски на обработку приводят к большим колебаниям действительных размеров деталей, что ухудшает качество сборки машин и снижает надежность и долговечность их работы.

Но практика показывает, что чем меньше допуск на обработку, тем сложнее и дороже процесс обработки и контроля деталей, так как требуются более точные средства измерения и обработки. Поэтому для производителей желательно иметь на чертежах большие допуски на обработку, так как они не требуют точного оборудования и технологической оснастки, точных и дорогих средств контроля, а также и рабочих высокой квалификации. Если изготовить несколько партий деталей одного типа, но с разными допусками на обработку, то зависимость затрат на обработку от величины допусков представится в виде кривой показанной на рис. 3.

Эта кривая показывает, что очень резко возрастает стоимость обработки при уменьшении допусков в области малых допусков; при относительно больших допусках стоимость обработки от уменьшения допуска меняется менее существенно.

Зависимость стоимости обработки от допуска учитыва-

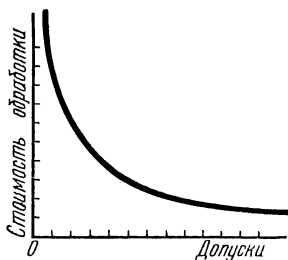


Рис. 3. Влияние величины допуска на стоимость обработки

ется конструктором при выборе допуска на обработку и при согласовании этого допуска с технологом. На заводах существует порядок, по которому чертежи, не имеющие подписи технолога, к выполнению в цехах не принимаются.

§ 3. Понятия о взаимозаменяемости в машиностроении

Конструкторы стремятся создать детали машин, приборов и механизмов взаимозаменяемыми, т. е. такими, которые могут быть легко заменены при сборке или ремонте машины другими, того же номера и наименования.

Взаимозаменяемость в машиностроении относится к одному из качественных показателей технологичности конструкций изделий и ее определение предусмотрено в ГОСТ 18831—73: «Взаимозаменяемость — свойство конструкции составной части изделия, обеспечивающее возможность ее применения вместо другой без дополнительной обработки, с сохранением заданного качества изделия, в состав которого оно входит». Взаимозаменяемые детали могут быть изготовлены независимо друг от друга в разное время и в разных местах, что экономически выгодно.

В этом случае под независимым изготовлением деталей понимается изготовление их в разное время, в разных местах. Например, одна деталь машины делается в одном городе, другая — в другом, а сборка машины производится в третьем месте.

Взаимозаменяемые детали должны быть одинаковыми по размерам, форме, твердости, прочности, химическим, электрическим свойствам и др. Если все эти функциональные параметры качества деталей установлены в пределах допусков, которые обеспечивают высокие показатели работы машины (мощность, надежность, скорость и др.) и оптимальную стоимость ее, то это называется функциональной взаимозаменяемостью.

Взаимозаменяемость может быть полной и неполной. Полная взаимозаменяемость — это такой способ конструирования и изготовления деталей, при котором любая деталь из партии может быть поставлена на соответствующее место в машине без подгонки или

подбора. В машиностроении имеет место и неполная (ограниченная) взаимозаменяемость, при которой изготовленные детали сначала сортируются по размерам на ряд групп, а затем при сборке машин используются не любые детали данного типа, а только лишь определенной группы: либо при сборке одна из деталей подбирается без дополнительной обработки в пару к другой с таким размером, который лучше всего подходит по требуемому характеру сопряжения, либо дополнительно обрабатывается.

Различают взаимозаменяемость внешнюю и внутреннюю. Внешняя взаимозаменяемость — это взаимозаменяемость различных сборочных единиц, которые по присоединительным размерам входят в состав более сложных изделий. Например, замена подшипников качения по размерам присоединительных поверхностей.

Внутренняя взаимозаменяемость — это взаимозаменяемость отдельных деталей, входящих в сборочную единицу, или сборочных единиц и механизмов, входящих в изделие. Например, в подшипниках скольжения — замена вкладышей, в подшипниках качения — замена тел качения и колец.

Взаимозаменяемость в машиностроении является основным и необходимым условием современного массового и серийного производства. Без соблюдения принципов взаимозаменяемости невозможно также нормальное использование многих предметов и домашнего обихода. Например, удобно и выгодно, когда любая электрическая лампочка ввертывается в патрон, шариковый подшипник одного и того же номера по посадочному размеру подходит к любой машине (мотоцикл, автомобиль и др.), ружейные патроны входят в любое ружье одного и того же калибра; гайки наворачиваются на любой болт одного и того же типоразмера и т. п.

Взаимозаменяемость связывает между собой и упрощает работу конструктора и технолога. Например, при массовом выпуске специализированными заводами типовых деталей крепежа (болтов, шпилек, винтов, гаек, шайб и др.), подшипников, зубчатых колес и передач и ряда других деталей и комплектующих изделий (например, шариковых подшипников) ускоряется процесс конструирования и изготовления новых машин. Если такие детали и другие изделия отвечают предъявляемым требованиям проектируемой машины, то конструктору не

нужно создавать чертежи на них, а заводу — тратить время и средства на изготовление их.

Взаимозаменяемость помогает конструктору создавать легкие и удобные по габаритам машины, рассчитывая на возможность замены отдельных деталей или сборочных единиц после определенного срока их работы новыми из запасных частей. В этом случае срок работы особо нагруженных деталей можно определить расчетом.

На производстве при взаимозаменяемости упрощается процесс сборки машин и обеспечиваются более высокие темпы работы. В эксплуатации у потребителя значительно упрощается ремонт машин, так как детали, пришедшие в негодность или малонадежные для дальнейшей эксплуатации, легко заменяются новыми.

Первыми применили принцип взаимозаменяемости тульские мастера оружейного дела. В инструкциях 1706—1715 гг. Петр I предписал мастерам при изготовлении ружей следить за правильным применением калибров, по которым делались детали, и за однородностью отдельных частей ружей. В 1826 г. принцип взаимозаменяемости в производстве оружия на Тульском оружейном заводе был блестяще продемонстрирован иностранным представителям. Взятые со склада без выбора тридцать ружей были разобраны и детали их перемешаны. Затем ружья были снова собраны из первых попавшихся деталей и действовали безотказно.

Широкое внедрение принципа взаимозаменяемости в гражданскую промышленность началось после первой мировой войны (1914—1918), которая заставила раскрыть секреты конструирования и производства взаимозаменяемых деталей на отдельных военных предприятиях как в России, так и за рубежом.

Развитие и повышение уровня взаимозаменяемости немислимо без стандартизации и унификации.

§ 4. Стандартизация и унификация и их роль в развитии взаимозаменяемости

Основные положения Государственной системы стандартизации в СССР определены в ГОСТ 1.0—68. Под стандартизацией понимается «установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтере-

ресованных сторон». Из этого вытекает, что основной задачей стандартизации является упорядочение процессов и отношений, возникающих при решении повторяющихся задач во всех сферах деятельности.

В машиностроении и приборостроении задачами стандартизации являются: определение единой системы показателей качества продукции; установление единых систем документации, норм и требований в области проектирования и производства изделий; установление единых научно-технических терминов и обозначений и единиц измерений и др., без которых невозможно точно определить качество продукции и которые имеют перспективу многократного применения.

Нормативно-техническим документом по стандартизации, устанавливающим комплекс норм, правил и требований к объекту стандартизации, является стандарт, который обязательно утверждается компетентным органом.

Стандарты устанавливаются на все виды массовой и серийной продукции. Они предусматривают типы, виды, марки и размеры изделий (машин, приборов, инструментов, различных материалов и т. п.), а также методы испытаний изделий и правила их упаковки, хранения и транспортировки. Стандартизация основывается на объединенных достижениях науки, техники и практического опыта и определяет основу не только настоящего, но и будущего развития.

Стандартизация в СССР способствует ускорению научно-технического прогресса, повышению эффективности общественного производства, улучшению качества продукции, укреплению обороноспособности страны и расширению торговли и научно-технического сотрудничества с зарубежными странами. Головной стандарт 1.0—68 предусматривает действие в СССР стандартов четырех категорий: Государственных стандартов СССР, обозначаемых ГОСТ, отраслевых стандартов — ОСТ, республиканских стандартов — РСТ и стандартов предприятий — СТП.

Каждый стандарт имеет номер с указанием года выпуска. Органы и службы стандартизации, их основные задачи и направления предусмотрены в ГОСТ 1.1—68. ГОСТы обязательны во всех областях народного хозяйства СССР. ОСТы обязательны для всех предприятий и организаций данной отрасли (например, авиационной

промышленности), а также для предприятий и организаций других отраслей, применяющих (потребляющих) продукцию этой отрасли. РСТ обязательны для всех предприятий и организаций республиканского и местного подчинения данной союзной республики. Они устанавливаются на продукцию, выпускаемую предприятиями союзно-республиканского, республиканского и местного подчинения, за исключением продукции, относящейся к объектам государственной и отраслевой стандартизации. Стандарты предприятий (СТП) устанавливаются на нормы, правила, требования, методы, составные части изделий и другие объекты, имеющие применение на данном предприятии. Поэтому они обязательны только для определенного предприятия.

На первой странице стандартов категорий ГОСТ, ОСТ, РСТ, распространяющихся на конкретную продукцию, указывается, что «несоблюдение стандарта преследуется по закону». За выпуск продукции, не соответствующей стандартам, должностные лица промышленных предприятий несут ответственность, предусмотренную уголовным законодательством союзных республик. Ответственность несут и должностные лица торговых организаций за выпуск в продажу нестандартных товаров.

С 1 января 1977 г. введены в действие наряду с ГОСТ стандарты СЭВ (СТ СЭВ), которые обязательны к применению всеми предприятиями, организациями и учреждениями СССР.

Многие стандарты отраслевые (ОСТ) и предприятий (СТП) составляются на основе ГОСТ и СТ СЭВ и имеют целью уменьшить количество параметров и норм (например, типоразмеров, классов точности, методов контроля и т. п.), предусмотренных в ГОСТах, и распространить те из них, которые наиболее применимы в условиях данной отрасли промышленности или одного предприятия. Это приводит к упрощению и удешевлению производственных процессов, так как сокращает число вариантов или типоразмеров, допустимых по ГОСТ. Так на одном из заводов до разработки и внедрения стандарта предприятия применялось 76 типоразмеров резьбовых соединений (разные номинальные диаметры и шаги, несколько классов точности). После изучения применяемости всех резьбовых соединений в СТП было включено только 36 типоразмеров резьб, что значительно

но сократило технологическую оснастку (количество метчиков, плашек, сверл, калибров и др.), облегчило и удешевило производство.

Принципиально новой формой стандартизации в СССР является разработка и применение стандартов, входящих в единые комплексные межотраслевые системы. Работа, связанная с конструированием и производством машин и приборов, регламентируется стандартами из следующих единых систем, каждой из которых присвоен свой номер (класс).

Государственная система стандартизации (ГСС) — класс 1; единая система конструкторской документации (ЕСКД) — класс 2; единая система технологической документации (ЕСТД) — класс 3; Государственная система измерений (ГСИ — см. гл. IV) — класс 8; система защиты от коррозии и старения изделий — класс 9; система безопасности труда (СБТ) — класс 12; система технологической подготовки производства (СТПП) — класс 14; система разработки и постановки продукции на производство — класс 15; система управления технологическими процессами (СУТП) — класс 16; система государственного управления качеством — класс 20; система обеспечения износостойкости изделий — класс 23; система расчетов и испытания на прочность в машиностроении — класс 25.

Номер класса системы стандартов ставится после слова ГОСТ и отделяется точкой от последующих цифр, обозначающих шифр группы стандартов системы, порядковый номер стандарта системы и год регистрации стандарта. Например, ГОСТ 16.308—76.

Стандарты, устанавливающие основные и общие положения системы, имеют шифр группы «0». Так, главными основополагающими стандартами перечисленных выше систем являются: ГОСТ 1.0—68; ГОСТ 2.001—70; ГОСТ 3.001—73; ГОСТ 8.001—71; ГОСТ 9.001—73; ГОСТ 12.001—74; ГОСТ 14.001—73; ГОСТ 15.001—73; ГОСТ 16.001—76; ГОСТ 20.001—79; ГОСТ 23.001—77; ГОСТ 25.001—78.

Вопросы, связанные с взаимозаменяемостью в машино- и приборостроении, разрешаются системой стандартов СЭВ под названием: «Основные нормы взаимозаменяемости СЭВ», а по гладким элементам деталей — под названием: «Единая система допусков и посадок для стран — членов СЭВ» (ЕСДП — СЭВ).

При составлении Государственных стандартов — ГОСТ и стандартов СЭВ для социалистических стран используются международные стандарты, разрабатываемые международной организацией по стандартизации ИСО, объединяющей свыше 70 государств (в том числе и СССР). В уставе ИСО записано: «Содействовать благоприятному развитию стандартизации во всем мире для того, чтобы облегчить международный обмен товарами и развивать взаимное сотрудничество в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности».

Унификация — латинское слово, означающее объединение, приведение чего-либо к единообразию, к единой форме или системе. Унификация распространяется на детали, агрегаты, машины и приборы, имеющие конструктивное подобие и общность работы, т. е. общность эксплуатационных требований. В результате унификации группа близких конструкций заменяется одним оптимальным типоразмером. Унификация наиболее просто осуществляется по изделиям с небольшим числом параметров, определяющих их конструкцию. К таким изделиям относятся болты, гайки, шайбы, уплотнения и т. д. Унификация деталей в сложных сборочных единицах, например в подшипниках, редукторах, приводных цепях, инструментах и т. п., дает возможность организовать массовое производство их на специализированных заводах с высокопроизводительным оборудованием, что обеспечивает высокое качество изделий и снижение стоимости их. Особо эффективна унификация режущих инструментов за счет устранения многообразия и обоснованного сведения к небольшому числу типов из числа лучших по качеству.

Подсчитано, что если осуществить в машиностроении унификацию и типизацию всего режущего инструмента, затем организовать массовое изготовление его на специализированных заводах с поточным производством, то время на изготовление инструментов может сократиться в среднем до 40 %, а стоимость инструмента уменьшится в несколько раз.

Широкое осуществление унификации во всех отраслях народного хозяйства возможно только на основе ранее составленных стандартов.

В ряде стран (Франция и др.) вместо термина «стандартизация» употребляют термин «нормализация».

§ 5. Понятия о предпочтительных (стандартных) числах и их роли в стандартизации и взаимозаменяемости

Все производственные процессы, технические средства для выполнения их (оборудование, приспособления, инструменты и т. п.) и исходные материалы взаимосвязаны. Так, размеры пруткового материала отражаются на размерах режущего инструмента и на габаритах и мощности станков. Поэтому важной задачей единой стандартизации является построение рядов чисел для основного параметра изделия. В одном случае основным параметром будет линейный размер, в другом — мощность или скорость, или масса и т. д.

При разработке стандартов в целях устранения разнообразия в числовых значениях размеров и других различных характеристик продукции, выпускаемой всеми отраслями народного хозяйства СССР, пользуются так называемыми предпочтительными числами и рядами предпочтительных чисел.

Ряды предпочтительных чисел представляют собой десятичные ряды геометрических прогрессий со знаменателями: $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$; $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$; $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$; $\sqrt[40]{10} \approx 1,06$.

В соответствии с Международными рекомендациями предусмотрены 4 ряда предпочтительных чисел, обозначаемых по показателю степени знаменателя геометрической прогрессии: R_5 ; R_{10} ; R_{20} и R_{40} . Предпочтение отдается ряду с более крупной градацией.

Стандартом разрешается применять в отдельных технически обоснованных случаях ряд R_{80} ($\sqrt[80]{10} \approx 1,03$).

В качестве исходных предусмотрены числа от 1 до 10. Так, по ряду R_5 предпочтительными числами будут 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10.

Ряды предпочтительных чисел безграничны в обоих направлениях. Числа свыше 10 получаются умножением величин, установленных в интервале 1—10 соответствующего ряда, на 10, 100, 1000 и т. д., а числа менее 1 — умножением на 0,1; 0,01; 0,001 и т. д.

В основу построения нормальных линейных размеров положен ряд R_{40} , следовательно, начиная от 1 мм, размеры увеличиваются в 1,06 раза (с округлением) и представляются в следующем виде: 1; 1,06; 1,12; 1,18; 1,25; 1,32; 1,4; 1,5 и т. д.

Введение единого порядка при переходе от одних числовых значений параметров к другим во всех отрас-

лях промышленности уменьшает количество типоразмеров, приводит к более экономному раскрою исходных материалов и позволяет лучшим образом согласовать и увязать между собой различные виды изделий, материалов, полуфабрикатов, транспортных средств, производственного оборудования (по габаритам, мощности и т. д.).

Если для мощности электродвигателей принять ряд R_{10} , то мощность различных двигателей в ваттах будет представляться в следующем виде: 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25 и т. д. с увеличением в 1,25 раза. Принятие такого ряда чисел не означает, что в производство запускаются двигатели всех мощностей. Важным является то, что в любое время можно выпускать двигатели с мощностью, нужной потребителю.

В машиностроении и приборостроении предпочтительные числа взяты в основу построения линейных и угловых размеров, размеров пазов, радиусов и уступов, а также точности и т. п. Использование предпочтительных чисел в конструкциях изделий и характеристиках материалов по механическим свойствам позволяет создавать типовые расчеты на прочность.

На базе предпочтительных рядов устанавливается типаж производственного оборудования и обеспечивается увязка размеров изделий с мощностью двигателей, производительностью и габаритами технологического оборудования.

Роль предпочтительных чисел в построении нормальных линейных размеров. Если конструктору разрешить произвольно назначать номинальные размеры, то это приведет к появлению на производстве большого количества разных размеров, что усложнит и удорожит производство. Ограничение количества применяемых линейных размеров (диаметров, длин, высот и т. п.) ведет к уменьшению номенклатуры размерного режущего инструмента (сверл, зенкеров, разверток, протяжек, оправок, калибров, приспособлений, штампов) и технологической оснастки, что значительно упрощает организацию инструментального хозяйства на предприятии. Ограничение количества применяемых размеров приводит и к сокращению номенклатуры изделий и их деталей (винтов, болтов, штифтов, пружин, валов, зубчатых колес и др.), что создает предпосылки для стандартизации и унификации и повы-

шения уровня взаимозаменяемости. В результате достигается удешевление продукции и значительная экономия в масштабе всей промышленности.

Ограничение в установлении размеров регламентирует СТ СЭВ 514—77, который предусматривает ряды нормальных линейных размеров от 0,001 до 20 000 мм, предназначенных для выбора номинальных размеров изделий.

Ряды нормальных линейных размеров построены на основе предпочтительных чисел и обеспечивают увязку размеров изделий с другими их параметрами (скоростью, мощностью, грузоподъемностью, производительностью и т. п.).

Для размеров от 0,001 до 0,009 мм устанавливаются числа: 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; 0,005; 0,006; 0,007; 0,008 и 0,009. Размеры от 0,01 до 20 000 мм установлены в соответствии с числами предпочтительных рядов R_5 , R_{10} и т. д., но с округлением некоторых чисел. На технологические межоперационные размеры нормальные линейные размеры не распространяются. Для размеров 1—4000 мм (наиболее распространенные) нормальные размеры приведены в приложении I.

§ 6. Предельные отклонения и поля допусков

Допуск на обработку в чертежах показывается в виде двух отклонений от номинального размера. Одно отклонение называется верхним, а другое нижним. Отклонения обозначаются буквами латинского алфавита: прописными для отверстия, строчными для вала. Установлением предельных отклонений на размеры деталей регламентируется требуемая точность выполнения размеров и определяется характер соединения деталей.

Верхним отклонением $ES(es)$ называется алгебраическая разность между наибольшим предельным размером и номинальным:

$$ES(es) = D(d)_{\text{нб}} - D(d).$$

Нижним отклонением $EI(ei)$ называется алгебраическая разность между наименьшим предельным размером и номинальным:

$$EI(ei) = D(d)_{\text{нм}} - D(d).$$

Примечание. В расчетных зависимостях D — размер отверстия, а d — размер вала.

Когда предельный размер больше номинального, то в чертеже отклонение ставится со знаком (+). Если предельный размер (наибольший или наименьший) менее номинального, то отклонение является отрицательным и в чертеже ставится со знаком (—) минус.

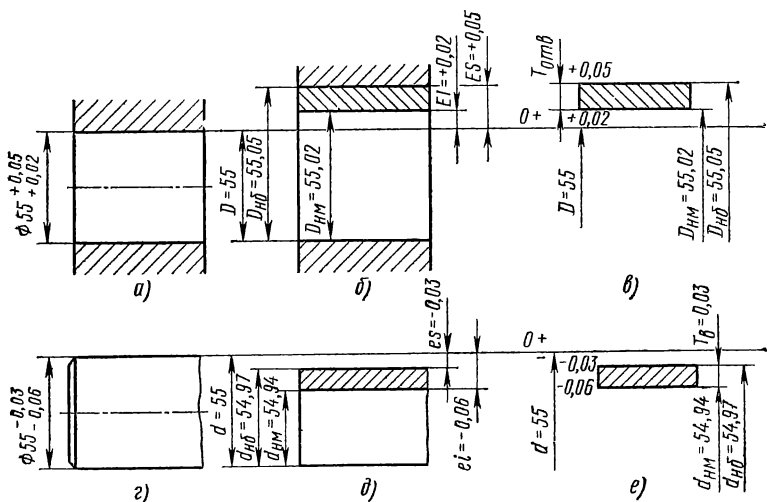


Рис. 4. Графическое построение полей допусков:

а — эскиз втулки с отверстием, б — схема отверстия, в — упрощенное изображение поля допуска, г — эскиз, д — схема вала, е — упрощенное изображение поля допуска вала

Когда один из предельных размеров равен номинальному, то отклонение оказывается равным нулю и в чертеже не проставляется.

На рис. 4, а, г показаны размеры отверстия и вала с отклонениями.

Для наглядного представления о возможном соотношении размеров применяется метод графического построения предельных отклонений, при котором приняты величины возможных отклонений откладывать только с одной стороны рассматриваемого размера (рис. 4, б). Величины положительных отклонений откладываются вверх относительно номинального размера, а отрицательные отклонения — соответственно вниз. Так, на рис. 4, б, д изображено отверстие с двумя положительными отклонениями и вал с двумя отрицательными

отклонениями. Пространство, ограниченное линиями верхнего и нижнего отклонений (заштрихованные полоски), называется полем допуска.

Более распространено упрощенное построение полей допусков, при котором схемы отверстия и вала не изображаются, а проводятся только контуры предельных отклонений относительно нулевой линии, соответствующей номинальному размеру (рис. 4, *в, е*). На указанных схемах верхняя граница поля допуска соответствует наибольшему предельному размеру, нижняя — наименьшему.

Наибольший предельный размер равен алгебраической сумме номинального размера и верхнего отклонения:

$$D(d)_{\text{нб}} = D(d) + ES(es).$$

Наименьший предельный размер равен алгебраической сумме номинального размера и нижнего отклонения:

$$D(d)_{\text{нм}} = D(d) + EI(ei).$$

Для отверстия (рис. 4, *а, б, в*) $D_{\text{нб}} = 55 + 0,05 = 55,05$ мм, $D_{\text{нм}} = 55 + 0,02 = 55,02$ мм.

Для вала (рис. 4, *г, д, е*) $d_{\text{нб}} = 55 + (-0,03) = 54,97$ мм, $d_{\text{нм}} = 55 + (-0,06) = 54,94$ мм.

Величину допуска T можно определить как абсолютную величину алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями:

$$T = ES(es) - EI(ei).$$

Для вала (рис. 4, *г, д, е*) допуск равен 0,03 мм т. е. $T = (-0,03) - (-0,06) = 0,03$ мм.

§ 7. Понятия о посадках

В машинах и приборах детали не стоят обособленно друг от друга. Они собираются в определенные сборочные единицы. Соединения деталей имеют различный характер.

Характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов, называется посадкой.

Различают два типа посадок: подвижные (с зазором), неподвижные (с натягом) и переходные.

Посадками с зазором называются посадки, при которых обеспечивается зазор в соединении, который характеризует большую или меньшую свободу относитель-

ного перемещения деталей. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (рис. 5, а).

Зазор S есть разность размеров отверстия и вала, т. е. ($D > d$); $S = D - d$.

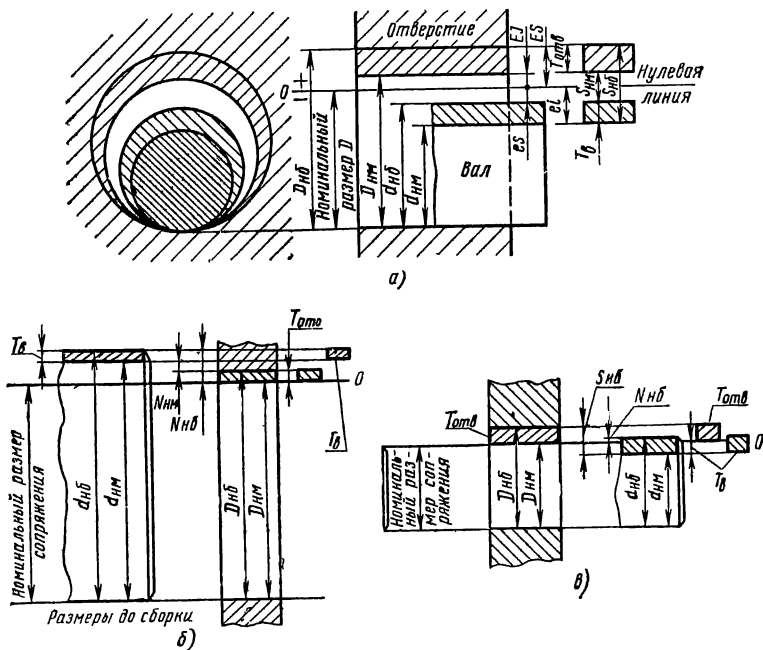


Рис. 5. Схема изображения полей допусков: посадки: а — с зазором, б — с натягом, в — переходная

В связи с колебаниями действительных размеров сопрягаемых деталей в пределах заданных допусков зазоры также будут колебаться от наибольшего до наименьшего значения.

Наибольший зазор $S_{нб}$ есть положительная разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала или алгебраическая разность между верхним предельным отклонением отверстия и нижним предельным отклонением вала:

$$S_{нб} = D_{нб} - d_{нм} = ES - ei.$$

Наименьший зазор $S_{\text{нм}}$ есть положительная разность между наименьшим предельным размером отверстия и наибольшим предельным размером вала или алгебраическая разность между нижним отклонением отверстия и верхним предельным отклонением вала:

$$S_{\text{нм}} = D_{\text{нм}} - d_{\text{нб}} = EI - es.$$

Посадки с натягом — посадки, при которых обеспечивается натяг в соединении. При графическом изображении (рис. 5, б) поле допуска вала расположено над полем допуска отверстия.

Натягом N называется разность размеров вала и отверстия до сборки, т. е. ($d > D$).

Натяг характеризует степень сопротивления взаимному смещению деталей, поэтому посадки с натягом задаются в соединении неподвижных деталей машин.

Наибольшим натягом называется положительная разность между наибольшим предельным размером вала и наименьшим предельным размером отверстия или алгебраическая разность между верхним отклонением вала и нижним отклонением отверстия:

$$N_{\text{нб}} = d_{\text{нб}} - D_{\text{пм}} = es - EI.$$

Наименьшим натягом $N_{\text{нм}}$ называется положительная разность между наименьшим предельным размером вала и наибольшим предельным размером отверстия или алгебраическая разность между нижним отклонением вала и верхним отклонением отверстия:

$$N_{\text{нм}} = d_{\text{нм}} - D_{\text{нб}} = ei - ES.$$

Переходными являются такие посадки, в которых возможно получение как наибольшего зазора, так и наибольшего натяга. При графическом изображении у переходной посадки поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично (рис. 5, в).

Неподвижность переходных посадок при наибольшем натяге обеспечивается силами трения, при наибольшем зазоре — применением дополнительных крепежных устройств в виде шпонок и др.

Для оценки точности соединений пользуются понятием допуска посадки, который определяется суммой допусков вала и отверстия

$$T_{\text{пос}} = T_{\text{отв}} + T_{\text{вала}},$$

а также разностью предельных зазоров (в посадках с зазором) или натягов (в посадках с натягом), т. е.

$$T_S = T_{\text{пос}} = S_{\text{нб}} - S_{\text{нм}};$$

$$T_N = T_{\text{пос}} = N_{\text{нб}} - N_{\text{нм}}.$$

Иногда важно знать не только наибольшие и наименьшие зазоры или натяги, но и средние их значения.

Средний зазор $S_{\text{ср}}$ или средний натяг $N_{\text{ср}}$ получается тогда в соединении, когда сопрягаемые размеры изготовлены по средним значениям своих допусков.

Для подвижных посадок средний зазор равен:

$$S_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{нб}} + S_{\text{нм}}}{2} = S_{\text{нб}} - \frac{T_{\text{отв}} + T_{\text{в}}}{2} = S_{\text{нм}} + \frac{T_{\text{отв}} + T_{\text{в}}}{2}.$$

Для посадок с натягом средний натяг равен:

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\text{нб}} + N_{\text{нм}}}{2} = N_{\text{нб}} - \frac{T_{\text{отв}} + T_{\text{в}}}{2} = N_{\text{нм}} + \frac{T_{\text{отв}} + T_{\text{в}}}{2}.$$

Для переходных посадок средний зазор $S_{\text{ср}}$ или средний натяг $N_{\text{ср}}$ определяются как

$$S_{\text{ср}} = S_{\text{нб}} - \frac{T_{\text{отв}} + T_{\text{в}}}{2}; \quad N_{\text{ср}} = N_{\text{нб}} - \frac{T_{\text{отв}} + T_{\text{в}}}{2}.$$

Практика показывает, что средние зазоры и натяги в соединении обеспечиваются чаще, чем предельные, так как наибольшую вероятность при изготовлении имеют детали с размерами, близкими к средним.

Вопросы для повторения

1. Что называется отверстием и валом?
2. Что называется полной и неполной взаимозаменяемостью?
3. Почему невозможно получить одинаковый размер у всех деталей партии при их изготовлении? Что называется допуском?
4. Что называется номинальным, предельным и действительным размерами?
5. Какие категории стандартов выпускаются в СССР и как они обозначаются?
6. Когда применяются предпочтительные числа и почему они стандартизованы?
7. Как влияет величина допуска на стоимость изготовления деталей?
8. Что такое погрешность измерения? Какие причины вызывают погрешность измерения?
9. Что называется верхним и нижним отклонением и какие знаки они имеют?
10. Что называется посадкой и на какие виды они подразделяются?

11. Как подсчитывается допуск посадки и что он определяет?
12. Что называется полем допуска и как оно изображается на графике?
13. Как построены нормальные линейные размеры и когда их применяют?
14. Что называется зазором, натягом и как определяют их величину?

Глава II

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ПЛОСКИХ СОПРЯЖЕНИЙ

§ 1. Понятие о системе допусков и посадок

Системой допусков называется закономерно построенная совокупность допусков и посадок.

В СССР первая система допусков и посадок для гладких соединений при размерах от 1 до 500 мм была разработана в 1919 г. и после проверки в промышленности утверждена в виде стандарта в 1929 г. Она содержала всего 4 класса точности и ограниченное количество допусков под посадки.

В целях развития международной торговли и взаимозаменяемости и введения единообразия в допусках на обработку изделий была разработана в 1935 г. Международная система допусков и посадок, которая обозначается ИСО (по названию международной организации по стандартизации). В послевоенные годы ИСО получила значительное развитие и стала применяться в большинстве стран мира.

В национальную систему допусков и посадок СССР, условно называемую системой ОСТ (по обозначению ее первых стандартов), все необходимые дополнения и изменения вносились уже с учетом имевшихся в ИСО.

С 1977 г. в СССР, как и в других странах — членах СЭВ, вводится Единая система допусков и посадок, обозначаемая ЕСДП СЭВ, разработанная на основе рекомендаций ИСО.

Введение ЕСДП СЭВ отвечает интересам сотрудничества стран — членов СЭВ и других стран мира, так как обеспечивает единое оформление технической документации, единый парк инструментов, калибров и технологической оснастки, взаимозаменяемость деталей и различных покупных сборочных единиц (подшипников,

агрегатов и др.) для комплектации при сборке различных машин, взаимовыгодную торговлю и т. д.

Всякая система допусков (ОСТ или ИСО) устраняет произвол в выборе посадок и допусков на обработку, делает возможной стандартизацию режущих инструментов и калибров и строится по определенным признакам: интервалы номинальных размеров; единица допуска; ряды допусков, нормальный температурный режим при контроле; образование посадок.

§ 2. Единая система допусков и посадок стран — членов СЭВ и признаки ее построения

Система распространяется на сопрягаемые и несопрягаемые цилиндрические элементы и элементы, ограниченные параллельными плоскостями. Общий диапазон номинальных размеров, охваченный системой, — 10 000 мм (нижний предел не ограничен).

Общие положения системы допусков и посадок, а также ряды основных отклонений и допусков предусмотрены в СТ СЭВ 145—75, а поля допусков и рекомендуемые посадки регламентируются тремя стандартами: СТ СЭВ 144—75 для размеров до 3150 мм, СТ СЭВ 177—75 для размеров свыше 3150 до 10 000 мм и СТ СЭВ 179—75 для деталей из пластмасс с размерами до 500 мм.

Допуски и посадки, устанавливаемые в стандартах, относятся к деталям, размеры которых определены при температуре 20 °С (нормальная температура).

1. Интервалы номинальных размеров. Если для заданной точности подсчитать допуски для всех номинальных размеров через 1 мм, то практически это будет нецелесообразно, так как таблицы допусков будут очень громоздкие, а разница между допусками двух смежных диаметров будет незначительной.

Для упрощения построения системы допусков весь диапазон номинальных диаметров делят на 13 интервалов: от 1 до 3 мм; св. 3 до 6 мм; св. 6 до 10 мм; св. 10 до 18 мм; св. 18 до 30 мм; св. 30 до 50 мм; св. 50 до 80 мм; св. 80 до 120 мм; св. 120 до 180 мм; св. 180 до 250 мм; св. 250 до 315 мм; св. 315 до 400 мм; св. 400 до 500 мм.

Начиная с 10 мм, для посадок с большим колеба-

нием зазоров или натягов устанавливаются еще промежуточных два или три интервала. Значения допусков вычисляют для среднегеометрического значения D :

$$D = \sqrt[3]{D_{\max} D_{\min}},$$

где D_{\max} и D_{\min} — граничные значения интервала размеров.

Полученный допуск или предельные отклонения принимают постоянными для всех номинальных размеров, относящихся к данному интервалу.

2. Ряды допусков. Ряды допусков представлены в 19 квалитетах. Квалитет обозначается порядковым номером, возрастающим с увеличением допуска: $IT01$; $IT0$; $IT1$; $IT2$ и т. д. до $IT17$, где IT — «международный допуск».

Допуски по квалитетам от $IT01$ до $IT7$ назначаются на калибры и измерительные средства; $IT4$ — $IT11$ — на сопрягаемые размеры; $IT12$ — $IT17$ — для неотчетливых несопрягаемых размеров или размеров в грубых соединениях.

Ряды допусков строятся по такой закономерности: при переходе от квалитета к квалитету допуски равномерно увеличиваются на 60 %; начиная с 6-го квалитета через каждые пять квалитетов допуски увеличиваются в 10 раз.

Допуски с 5-го по 17-й квалитет определяются по зависимости

$$T = at,$$

где a — коэффициент, зависящий от квалитета; t — единица допуска.

Значения коэффициента a приведены ниже:

Квалитет. .	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
a . . .	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Формулы, по которым определяются значения допусков до 5-го квалитета, приведены ниже.

Квалитет. .	01	0	1	2	3	4
Значение до- пуска. .	$0,3 + 0,008D$	$0,5 + 0,012D$	$0,8 + 0,02D$	$\sqrt{IT1 \cdot IT3}$	$\sqrt{IT1 \cdot IT5}$	$\sqrt{IT3 \cdot IT5}$

При одном номинальном размере и одном номере квалитета допуски вала и отверстия равны. Поэтому,

учитывая сложность обработки отверстия по сравнению со сложностью обработки вала, допуски на отверстие назначают на 1—2 качества грубее, чем допуски на вал.

Значения допусков по качествам от *IT01* до *IT17* приведены в приложении II.

3. Единица допуска *i*. Величина допуска не совсем полно характеризует точность обработки. Например, у валов $\varnothing 6_{-0,03}$ мм и $\varnothing 80_{-0,03}$ мм величина допуска одинаковая — 0,03 мм. Но обработать вал диаметром 80 мм значительно труднее, чем вал диаметром 6 мм с тем же допуском.

В качестве единицы точности, с помощью которой можно установить зависимость изменения допуска с изменением диаметра, является единица допуска. Практикой установлено, что трудности обработки в основном возрастают с увеличением размеров деталей по закону кубической параболы в виде $\sqrt[3]{D}$.

Для качеств с 5-го по 17-й единицу допуска определяют по формуле

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D.$$

Значения *i* для различных интервалов приведены в приложении XII.

4. Ряды основных отклонений. Основное отклонение — одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения положения поля допуска относительно нулевой линии. В системе СЭВ таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

Всего для валов и отверстий предусмотрено по 28 рядов основных отклонений, которые обозначаются одной или двумя буквами латинского алфавита: прописной для отверстий и строчной для валов. Расположение рядов основных отклонений относительно нулевой линии и их обозначение показаны на рис. 6.

Основное отверстие обозначается буквой *H* (*EI* = 0), а основной вал буквой *h* (*es* = 0).

Ряды основных отклонений от *A(a)* до *H(h)* предназначены для образования посадок с зазором; от *J(j)* до *N(n)* — переходных и от *P(p)* до *ZC(zc)* — посадок с гарантированным натягом.

Для каждого буквенного обозначения величина и знак основного отклонения, а также допуск *T* приведены в СТ СЭВ 145—75. Второе (неосновное) отклонение

определяется исходя из зависимостей $EI(ei) = ES(es) - T$ или $ES(es) = EI(ei) + T$.

Величина основного отклонения для большинства полей допусков не зависит от качества. Валы j и js и отверстия J и Js основных отклонений не имеют. Для

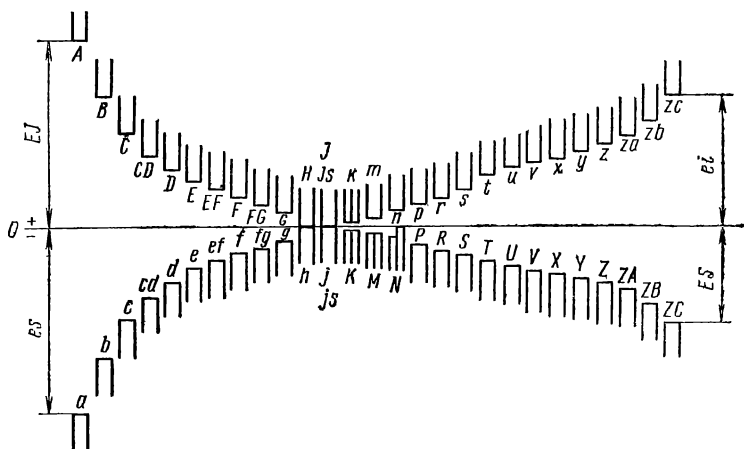


Рис. 6. Схема расположения рядов основных отклонений валов и отверстий

$Js(js)$ поле допуска располагается строго симметрично относительно нулевой линии. Основные отклонения валов и отверстий, обозначаемых одной и той же буквой, равны по величине, но противоположны по знаку, т. е. $EI = -es$ для $A - H$, $ES = -ei$ для J до ZC .

Для отверстий J, K, M и N до $IT8$ включительно и для отверстий от P до ZC до $IT7$ включительно для интервалов размером свыше 3 мм

$$ES = -ei + \Delta,$$

где Δ равна разности между допуском рассматриваемого качества и допуском ближайшего более точного качества ($IT_n - IT_{n-1}$).

Сочетание основного отклонения с номером качества образует поле допуска, которое проставляется конструктором в технической документации после номинального размера. Примеры: $\varnothing 40H10$ — номинальный размер 40 мм относится к основному отверстию H , квали-

тет 10; $\varnothing 80g6$ — номинальный размер 80 мм относится к валу с отклонением g , квалитет 6.

Величины допусков (не отклонений) находят по табл. 6 СТ СЭВ 145—75: для 10-го квалитета 100 мкм, а для 6-го квалитета 19 мкм (см. для интервала св. 50 до 80 мм).

§ 3. Понятия о посадках в системе отверстия и в системе вала

Образование различных посадок связано с понятиями: посадки в системе отверстия и посадки в системе вала. Посадки в системе отверстия — это посадки, в которых различные зазоры или натяги получают соединением различных валов (например, g , m , p и др.) с основным отверстием H .

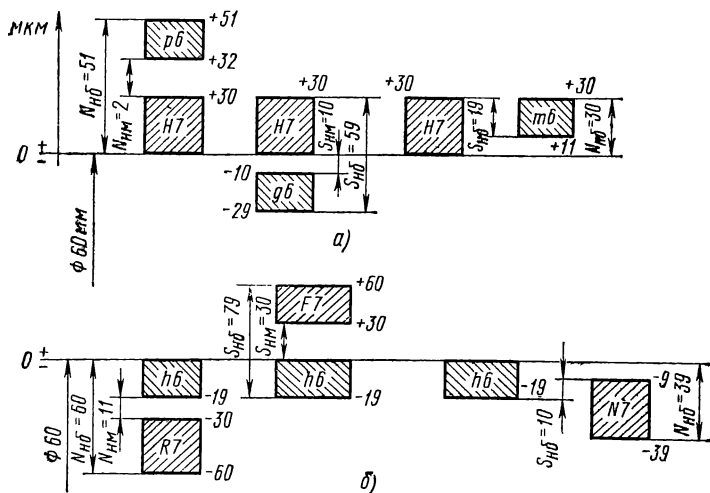


Рис. 7. Графическое изображение посадок:
а — в системе отверстия, б — в системе вала

Посадки в системе вала — это посадки, в которых различные зазоры или натяги получают соединением различных отверстий (например, F , R , N и др.) с основным валом h .

В системе отверстия (рис. 7, а) предельные отклонения отверстия (верхнее и нижнее, равное нулю) для

всех посадок одинаковы, а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений валов.

В системе вала, наоборот (рис. 7, б), предельные отклонения вала (верхнее, равное нулю, и нижнее) для всех посадок одинаковы, а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений отверстий.

В обозначение посадки входит номинальный размер, общий для соединения, за которым следует дробь, в числителе дроби указывается поле допуска отверстия, а в знаменателе — поле допуска вала. Например, $\varnothing 60 \frac{H7}{e8}$;

$\varnothing 60 \frac{H8}{d9}$; $\varnothing 60 \frac{H9}{f9}$ — посадки в системе отверстия;

$\varnothing 60 \frac{E8}{h7}$; $\varnothing 60 \frac{D9}{h8}$; $\varnothing 60 \frac{F9}{h9}$ — посадки в системе вала.

СТ СЭВ 145—75 допускает запись обозначения посадки в строчку: $\varnothing 60H7 - e8$; $\varnothing 60F9 - h9$.

Из примеров видно, что одну и ту же посадку можно получить как в системе отверстия, так и в системе вала. При выборе системы посадок учитывают следующие соображения.

Наиболее распространена система отверстия, так как при работе по этой системе на производстве образуется меньше различных по размерам отверстий, следовательно, производство потребует меньше различных режущих инструментов для обработки отверстий, непосредственно формирующих размер (сверл, зенкеров, протяжек), калибров-пробок и оправок для приспособлений. Обработка валов с разными размерами проще: например, на одном токарном или шлифовальном станке можно получить разные значения размеров у вала.

Но осуществлять различные посадки только по одной системе отверстия можно не в каждой машине, а в ряде случаев даже экономически невыгодно. Так, если посадки для сопряжений, указанных на рис. 8, взять по системе отверстия, т. е. $75 \frac{H7}{r6}$ и $75 \frac{H7}{h6}$, то соединить детали с имеющимися размерами будет невозможно. Отклонения для отверстий во втулках I и II, взятые для

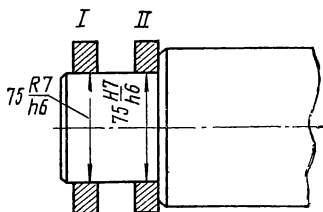


Рис. 8. Расположение посадок, когда невозможно применить систему отверстия

основного отверстия *H7*, будут одинаковы ($75^{+0,03}$ мм), а чтобы создать на конце вала неподвижную посадку, вал следует делать с отклонениями $+0,043$ и $+0,062$ мм, а под подвижную посадку — с отклонением $-0,019$ мм. В этом случае предельные размеры вала под неподвижную посадку значительно больше размеров отверстия. Поэтому при установке втулки *II* по подвижной посадке, когда она будет проходить через конец вала, произойдет деформация его и при постановке втулки *I* не будет обеспечена неподвижность соединения.

Экономически и технологически выгодней применять систему вала, когда используется цельнотянутый материал в виде прутка или проволоки без последующей дополнительной механической обработки. Но это возможно только при квалитетах 8 и грубее.

Систему вала приходится также применять при использовании в конструкциях машин унифицированных или стандартных сборочных единиц и деталей, например подшипников качения при посадке в корпус, контрольных штифтов, валиков и т. п. Так как номинальные размеры валов уже заданы, то отверстия в корпусах машин для посадки подшипников качения, а также отверстия под контрольные штифты и другие нормализованные или стандартизованные детали приходится обрабатывать по системе вала с отклонениями под соответствующую посадку.

§ 4. Предпочтительные поля допусков и посадки

Для размеров от 1 до 500 мм СТ СЭВ 144—75 содержит большое количество различных полей допусков, которые делятся на поля допусков основного отбора (81 для валов и 72 для отверстий) и дополнительные поля допусков (36 для валов и 32 для отверстий).

Неограниченное использование всех стандартных полей допусков приводит к появлению на производстве большого количества различных размеров отверстий и валов, требующих обработки, а следовательно, и большого количества разнообразных размерных режущих инструментов (разверток, зенкеров и др.), приспособлений, калибров, оправок и т. п.

Все это усложняет инструментальное хозяйство завода, удорожает производство машин и удлиняет сроки подготовки производства для выпуска машин новых

1. Поля допусков отверстий и валов для размеров от 1 до 500 мм

Основные		С симметричным расположением допуска (для переходных посадок)		Для подвижных посадок		Для переходных и посадок с натягом	
отв.	вал	отв.	вал	отв.	вал	отв.	вал
H01	h01	J _s 01	j _s 01	A11	a11	K5	k4
H0	h0	J _s 0	j _s 0	B11	b11	K6	k5
H1	h1	J _s 1	j _s 1	B12	c8	K7	k6
H2	h2	J _s 2	j _s 2	C11	c11	K8	k7
H3	h3	J _s 3	j _s 3	D8	d8	M5	m4
H4	h4	J _s 4	j _s 4	D9	d9	M6	m5
H5	h5	J _s 5	j _s 5	D10	d10	M7	m6
H6	h6	J _s 6	j _s 6	D11	d11	M8	m7
H7	h7	J _s 7	j _s 7	E8	e7	N5	n4
H8	h8	J _s 8	j _s 8	E9	e8	N6	n5
H9	h9	J _s 9	j _s 9	F7	e9	N7	n6
H10	h10	J _s 10	j _s 10	F8	f6	N8	n7
H11	h11	J _s 11	j _s 11	F9	f7	P6	p5
H12	h12	J _s 12	j _s 12	G5	f8	P7	p6
H13	h13	J _s 13	j _s 13	G6	f9	R7	r5
H14	h14	J _s 14	j _s 14	G7	g4	S7	r6
H15	h15	J _s 15	j _s 15		g5	T7	s5
H16	h16	J _s 16	j _s 16		g6	U8	s6
H17	h17	J _s 17	j _s 17				s7 t6 u7 u8 x8 z8

Примечание. В рамках предпочтительные поля допусков.

конструкций. При относительно небольшой номенклатуре режущих инструментов и калибров и большой потребности в них создаются благоприятные возможности для организации массового производства их на спе-

специализированных заводах, что приведет к повышению качества инструмента и снижению себестоимости продукции.

Чтобы уменьшить на производстве количество типовых размеров изготавливаемых деталей и упростить производство, в основном отборе полей допусков (табл. 1) выделены для предпочтительного применения 16 полей допусков для валов и 10 для отверстий.

При выборе допусков на обработку рекомендуется в первую очередь применять предпочтительные поля допусков. Если предпочтительные поля допусков не могут обеспечить конструктивные и технологические требования, то берут любое поле допуска из основного отбора. Применение дополнительных полей допусков (приводятся в приложении к стандарту) допустимо в отдельных, технически обоснованных случаях.

Предпочтительные поля допусков согласованы с рекомендацией ИСО, следовательно, они будут наиболее распространенными не только в странах СЭВ, но и в других странах. На эти поля допусков в основном ориентируется организация специализированного производства размерных инструментов и калибров.

СТ СЭВ 144—75 содержит также рациональные сочетания полей допусков и квалитетов для отверстия и вала в посадке под наименованием «рекомендуемые посадки». Эти посадки (основные и комбинированные) предусмотрены как в системе отверстия, так и в системе вала.

Посадки, образованные сочетанием полей допусков неосновных отверстий или валов с полем допуска неосновных валов или отверстий одного и того же квалитета, называются основными. Например, $\frac{H7}{f7}$; $\frac{H8}{e8}$; $\frac{H8}{h8}$.

Кроме основных, иногда применяют еще комбинированные посадки, т. е. посадки, образованные сочетанием поля допуска отверстия одного квалитета с полем допуска вала другого квалитета одной системы, например $\frac{H7}{g6}$; $\frac{H7}{js6}$; $\frac{F8}{h6}$; $\frac{N7}{h6}$ и т. д.

Сочетание полей допусков валов и отверстий из разных систем СТ СЭВ 144—75 не рекомендует.

При номинальных размерах 1—500 мм рекомендуется 70 посадок в системе отверстия и 61 посадка в системе вала (основных и комбинированных). Для предпо-

2. Предпочтительные посадки для размеров 1—500 мм

Предпочтительные посадки для размеров от 1 до 500 мм

в системе отверстия					в системе вала			
$\frac{H7}{e8}$;	$\frac{H7}{f7}$;	$\frac{H7}{g6}$;	$\frac{H7}{h6}$;	$\frac{H7}{js6}$;	$\frac{F8}{h6}$;	$\frac{H7}{h6}$;	$\frac{Js7}{h6}$;	$\frac{K7}{h6}$;
$\frac{H7}{k6}$;	$\frac{H7}{n6}$;	$\frac{H7}{p6}$;	$\frac{H7}{r6}$;	$\frac{H7}{s6}$;	$\frac{N7}{h6}$;	$\frac{P7}{h6}$;	$\frac{H8}{h7}$;	$\frac{E9}{h8}$;
$\frac{H8}{e8}$;	$\frac{H8}{h7}$;	$\frac{H8}{h8}$;	$\frac{H8}{d9}$;	$\frac{H9}{d9}$;	$\frac{H8}{h8}$;	$\frac{H11}{h11}$		
$\frac{H11}{d11}$;	$\frac{H11}{h11}$							

читительного применения выделены 17 посадок в системе отверстия и 10 посадок в системе вала (табл. 2).

§ 5. Система допусков и посадок ОСТ

Техническая документация и литература с обозначениями допусков и посадок по системе ОСТ еще длительное время будет встречаться на производстве, поэтому ниже рассмотрены основные ее положения. Система допусков охватывала размеры от 0,01 до 10 000 мм, которые по количеству установленных рядов точностей (классов) делилась на 4 группы (табл. 3). Поля допусков обозначались прописными русскими буквами: основное отверстие буквой А, а основной вал — В. Поля допусков под посадки обозначались буквами, соответствующими условным названиям посадок. Если первая буква была уже занята, то добавлялась вторая буква строчная. Так, поля допусков под подвижные посадки обозначались буквами: С — скольжения, Д — движения, Х — ходовую, Л — легкоходовую, Ш — широкоходовую, ТХ — тепловую ходовую посадку. Под переходные посадки приняты буквы: Г — глухую посадку, Т — тугую, Н — напряженную, П — плотную. Для обозначения полей допусков под посадки с натягом приняты две буквы: Гр — горячепрессовую, Пр — прессовую, Пл — легкопрессовую или Пр1 — прессовую первую, Пр2 — прессовую вторую.

3. Классы точности, предусмотренные для разных размеров

Группа размеров, мм	Обозначение классов точности	
	для сопрягаемых размеров	для свободных размеров
0,01—0,1 (исключительно)	08—09—1—2—2a—3—3a—4	5
0,1—1 (исключительно)	08—04—05—06—07—08—09— 1—2—2a—3—3a—4—5	6—7
1—500	02—03—04—05—06—07—08— 09—1—2—2a—3—3a—4—5	7—8—9
Свыше 500 до 10 000	1—2—2a—3—3a—4—5	7—8—9—10—11

Так как 2-й класс точности наиболее распространен в машиностроении, он считался основным в системе допусков и поэтому при обозначении полей допусков этого класса цифра 2 опускалась. Например, обозначение поля допуска основного отверстия 3-го класса имеет вид A_3 , а 2-го класса — вид A ; поле допуска вала под ходовую посадку 4-го класса обозначалось X_4 , а 2-го класса X и т. д.

Допуски классов точности 02—09 (нулевых), 2a, 3a, 7, 8, 9 и 10 были взяты из соответствующих квалитетов международной системы допусков ИСО. В каждом классе точности содержалось определенное количество посадок (табл. 4). Так, поля допусков под посадку скольжения соответствуют полям допусков основного отверстия A и основного вала B (в табл. 4 поставлено равенство $A=C$ и $B=C$).

Для размеров от 1 до 500 мм было установлено 12 интервалов номинальных размеров и величины допусков подсчитывались по известной формуле

$$T = ai.$$

Значения коэффициента a в классах 1, 2 и 2a были установлены для отверстий в 1,6 раза больше, чем для

4. Обозначения стандартных полей допусков под посадки

Класо точности	Обозначения валов (основных) и в системе отверстий	Обозначения отверстий (основных) и в системе вала
1	Пр2 ₁ , Пр1 ₁ , Г ₁ , Т ₁ , Н ₁ , П ₁ В ₁ =С ₁ , Д ₁ , Х ₁	Г ₁ , Т ₁ , Н ₁ , П ₁ , А ₁ =С ₁ , Д ₁ , Х ₁
2	Пр, Пл, Г, Т, Н, П, В=С, Д Г _р , Х Л Ш, ТХ	А=С, Пр, Г, Т, Н, П, Д Г _р , Х Л Ш
2а	Пр2 _{2а} , Пр1 _{2а} Г _{2а} , Т _{2а} Н _{2а} , П _{2а} , С _{2а} =В _{2а} , Х _{2а}	А _{2а} =С _{2а} , Г _{2а} , Т _{2а} , Н _{2а} П _{2а} , Пр2 _{2а}
3	В ₃ =С ₃ , Пр1 ₃ , Пр2 ₃ , Пр3 ₃ Х ₃ Ш ₃	А ₃ =С ₃ Х ₃ Ш ₃
3а	В _{3а} =С _{3а}	А _{3а} =С _{3а}
4	В ₄ =С ₄ , Х ₄ , Л ₄ , Ш ₄	А ₄ =С ₄ , Х ₄ , Л ₄ , Ш ₄
5	В ₅ =С ₅ , Х ₅	А ₅ =С ₅ , Х ₅

вала. Следовательно, допуск отверстия в одном классе был в 1,6 раза больше, чем у вала, так как отверстие труднее обрабатывать и измерять, чем вал.

Единица допуска, показывающая зависимость допуска от размера, определялась по формуле

$$i = 0,5 \sqrt[3]{d_{\text{ср}}}$$

где $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр в интервале размеров.

С 1-го по 5-й класс под посадки предусматривалось 43 поля допуска для вала и 34 для отверстий (см. табл. 4), из них 19 для валов и 14 для отверстий являлись предпочтительными. В предпочтительные поля допусков из числа всех стандартных отбирались такие, которые совпадали с полями допусков ИСО или были близки к ним. Это мероприятие было осуществлено в

1962 г. (ГОСТ 7713—62) с целью сближения системы допусков ОСТ с системой ИСО и уменьшения количества полей допусков в конструкциях изделий. Сближение с системой ИСО было необходимо для расширения торговли с различными странами мира и постепенного внедрения допусков ИСО в СССР.

Уменьшенное количество полей допусков предпочтительного применения не ограничивает возможности получения разных посадок. Для получения посадки с необходимыми предельными зазорами или натягами конструктор мог брать любые предпочтительные поля для вала и отверстия. Если использовать все возможные комбинации из 19 предпочтительных полей допусков для валов и 14 для отверстий, то можно при одном номинальном размере получить 266 посадок (19×14), различных по зазорам и натягам.

Такие посадки, образованные из полей допусков разных классов и разных систем, назывались комбинированными.

Если для обработки отверстия взять отклонения по А, т. е. как для основного отверстия второго класса точности, а для вала — отклонения под ходовую посадку Х, то при сопряжении отверстия с валом получится основная посадка, стандартизованная в системе отверстия в виде $\frac{A}{X}$. Если же для отверстия взять поле допуска из системы вала под какую-либо посадку, например Π_1 , а поле допуска вала взять основное, т. е. B_1 , то при сопряжении таких деталей посадка будет тоже основной первого класса точности в системе вала в виде $\frac{\Pi_1}{B_1}$.

Если взять для отверстия поле допуска из системы вала, например под ходовую посадку, а для вала — поле допуска из системы отверстия, например тоже под ходовую посадку, то при сопряжении их характер посадки в виде $\frac{X}{X}$ будет комбинированный. При комбинированной посадке могут сочетаться и предпочтительные поля допусков отверстия и вала из разных классов точности, например в виде $\frac{A_{22}}{G}$. Для номинального размера 75 мм в сборочных чертежах обозначения рассмотренных посадок будут иметь следующий вид: $\varnothing 75 \frac{A}{X}$; $\varnothing 75 \frac{\Pi_1}{B_1}$ — основ-

5. Соответствие классов точности ОСТ квалитетам ИСО

Классы точности ОСТ	1		2		2a		3	3a	4	5	7	8	9	10
Квалитеты ИСО	вал	отв.	вал	отв.	вал	отв.								
	5	6	6	7	7	8	8—9	10	11	12—13	14	15	16	17

ные посадки в системе отверстия и в системе вала;
 $\varnothing 75 \frac{X}{X}$; $\varnothing 75 \frac{A_{2a}}{X}$ — комбинированные посадки.

Проведенные мероприятия по сближению системы ОСТ с международной ИСО (введение предпочтительных полей допусков и др.) облегчили полный переход в СССР на ЕСПД СЭВ в период 1977—1980 гг. Если сопоставить все поля допусков системы ОСТ для размеров от 1 до 500 мм с полями допусков, предусмотренными в СТ СЭВ 144—75, то можно установить, что 53,6 % полей допусков ОСТ совпадают с полями допусков ЕСПД СЭВ или вписываются в них; 21,4 % полей допусков ОСТ выходят за пределы соответствующих полей допусков ЕСПД СЭВ не более чем на 10 %, что не нарушает взаимозаменяемость изделий; 25 % полей допусков ОСТ выходят за пределы соответствующих полей допусков ЕСПД СЭВ более чем на 10 %, и их замена может вызвать некоторые усложнения на производстве. Соответствие классов точности ОСТ квалитетам международной системы допусков ИСО приведено в табл. 5.

§ 6. Обозначение предельных отклонений и посадок на чертежах по ЕСПД СЭВ

Стандарт предусматривает три способа нанесения предельных отклонений линейных размеров в рабочих чертежах (рис. 9, а):

условными обозначениями полей допусков и посадок, например 18H6; 60f6;

числовыми величинами предельных отклонений, например $60 \begin{smallmatrix} +0,06 \\ +0,04 \end{smallmatrix}$

условными обозначениями полей допусков и справа в скобках числовыми величинами предельных отклоне-

ний, например 60г6 ($\pm_{+0,041}^{0,060}$). Такой способ нанесения называется смешанным.

При нанесении в чертеже числовых значений отклонений верхнее отклонение, определяющее наибольшее допускаемое значение размера, наносится над нижним. Отклонение, равное нулю, не указывается; в этом слу-

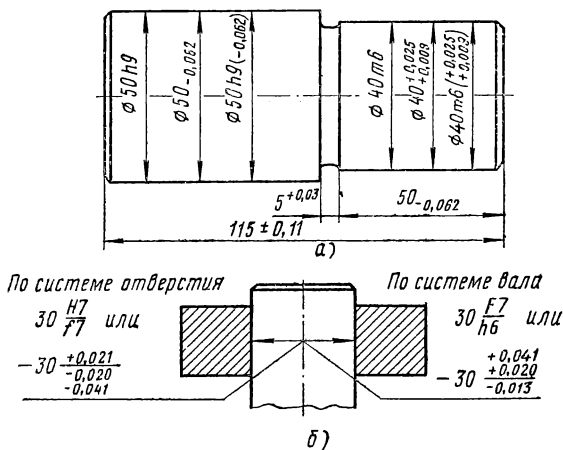


Рис. 9. Обозначение допусков:

а — в рабочих чертежах, *б* — в сборочных чертежах

чае наносится только одно отклонение: с плюсом (+) на месте верхнего ($5^{+0,03}$) (рис. 9, *а*), с минусом (—) на месте нижнего предельного отклонения ($50_{-0,062}$) (рис. 9, *а*). При симметричном расположении отклонений, т. е. когда отклонения равны, но имеют разные знаки, величина отклонения наносится со знаком (\pm) рядом с номинальным размером и шрифтом этого же размера ($115 \pm 0,11$).

На сборочных чертежах предельные отклонения размеров деталей или условные обозначения указывают в виде дроби (рис. 9, *б*): в числителе всегда указывается условное обозначение или числовые величины отклонений отверстий, а в знаменателе — условные обозначения или числовые величины отклонений вала.

На производстве кроме размеров с допусками на чертежах устанавливается еще большое количество так

называемых технологических размеров, или операционных. Эти размеры у готовой детали не сохраняются, а исчезают в процессе обработки по мере приближения ее к виду, указанному на чертеже. Как правило, допуски на технологические размеры ставятся в виде одного отклонения со знаком в металл: при обработке отверстия с плюсом и при обработке вала с минусом, т. е. как у основного отверстия и вала.

Если размер на чертеже вала был показан в виде $\varnothing 75r6 \left(\begin{smallmatrix} +0,062 \\ -0,043 \end{smallmatrix} \right)$, то технологический размер на последней операции обработки вала будет иметь вид $75,062_{(-0,019)}$. В этом случае рабочий, ориентируясь на «номинал» 75,062 и получив этот размер при обработке, имеет еще возможность устранить дефекты на поверхности детали путем дополнительной обработки, имея на это 0,019 мм. Ориентируясь же на номинальный чертежный размер 75 мм, можно допустить неисправимый брак, так как у годной детали размер должен быть не более 75,062 и не менее 75,043 мм.

§ 7. Выбор посадок

При выборе подвижных и неподвижных посадок в первую очередь знакомятся с подобными соединениями деталей в других механизмах и машинах, работающих в аналогичных условиях. В противном случае приходится делать расчет зазоров и натягов с последующей проверкой сопряженных деталей в работе.

Выбор подвижной посадки. При выборе подвижной посадки, т. е. посадки с гарантированным зазором, основной задачей является обеспечение наименьшего трения между соприкасаемыми поверхностями вала и втулки, а следовательно, и наименьшего износа их.

Различают следующие виды трения: сухое, жидкостное и промежуточное (полусухое и полужидкостное). При жидкостном трении слой смазки между поверхностями вала и втулки (подшипника) должен быть такой толщины, чтобы практически происходило скольжение не поверхности вала по поверхности втулки, а скольжение слоев смазки.

Если поверхности деталей не смазаны, то возникает сухое трение, при котором механическая энергия вра-

щения деталей превращается в тепловую, детали сильно нагреваются и машина утрачивает работоспособность.

Промежуточное — полусухое или полужидкостное — трение имеет место, когда трущиеся поверхности разделены слоем смазки неполностью.

Наилучшие условия для скольжения создаются при жидкостном трении, когда поверхности вала и отверстия подшипника будут полностью разделены масляным слоем. Масляный слой и циркуляция смазочной жидкости создают наименьшее трение и улучшают отвод тепла, возникающего при трении, от рабочих поверхностей подшипника.

Расчеты и практика эксплуатации машин показывают, что с увеличением частоты вращения и вязкости смазки следует подбирать посадку с большим зазором. При подборе смазки необходимо учитывать, что вязкость смазки с повышением температуры понижается, а с понижением температуры — повышается.

Выбор посадки с натягом. Прочность неподвижного соединения двух деталей обеспечивается силой трения между поверхностями деталей и зависит от величины натяга. Поэтому при выборе посадки с натягом определяют допускаемые значения наибольшего и наименьшего натягов.

Если натяг окажется больше допускаемого, то деталь может разрушиться, а при очень малом натяге сила трения может оказаться недостаточной и при работе произойдет смещение деталей относительно друг друга.

При отсутствии опыта применения подобной посадки в других машинах и сборочных единицах, проверенных в работе, конструктор определяет допускаемые натяги расчетом. Для этого сначала рассчитывают величину наибольшего натяга, затем подбирают соответствующую посадку из числа основных или комбинированных и проверяют допустимость наименьшего натяга, при котором соединенные детали не будут смещаться относительно друг друга.

На прочность посадки с натягом оказывают влияние и толщина стенок сопрягаемых втулки и вала (если вал пустотелый), величина (площадь) поверхности сопряжения, а также способ соединения деталей.

При соединении за счет расширения втулки от нагрева (без применения силы) прочность соединения будет значительно выше, чем при запрессовке без нагрета.

ва втулки. Это объясняется тем, что при запрессовке деталей с приложением силы (например, под прессом) неровности поверхностей сминаются и натяг, подсчитанный на основании размеров (при измерении вала и втулки) до запрессовки, несколько уменьшится.

Но при осуществлении неподвижной посадки с нагревом охватывающей детали может возникнуть неравномерная деформация (искажение формы), особенно опасная для деталей сложной формы. Посадки с натягом, как правило, являются неразъемными, так как распрессовка и запрессовка вновь ведут к нарушению посадки.

При выборе посадки также учитывают температурные условия работы деталей. Так, если охватываемая и охватывающая детали имеют разные коэффициенты линейного расширения, т. е. сделаны из разных материалов, то при значительном отклонении рабочей температуры от нормальной (20°C) натяг может измениться и не удовлетворять условиям работы механизма.

Общая характеристика основных посадок. В скользящих посадках ($\frac{H7}{h6}$; $\frac{H8}{h7}$) наименьший зазор равен нулю, поэтому эти посадки находятся на грани между неподвижными и переходными посадками. При хорошей смазке детали перемещаются относительно друг друга свободно. Например, направляющие и пиноли в станках, поршневые штоки в цилиндрах насосов и поршневых машин, центрирующие поверхности фланцев и крышек. Но при дополнительном крепежном средстве, например шпонке, скользящая посадка превращается в неподвижную. Это осуществляется в случаях, когда требуется точное центрирование сопряженных деталей при частой сборке и разборке сборочных единиц в процессе эксплуатации машины (соединение валов со сменными колесами, со сцепными дисками или соединительными и фрикционными муфтами и др.).

Посадки типа $\frac{H7}{g6}$; $\frac{H7}{g5}$ имеют малый гарантированный зазор, что создает хорошее центрирование деталей и отсутствие ударов при перемене нагрузки. При хорошей смазке посадки применяют для сопряжения шейки коленчатого вала с шатуном в поршневом двигателе, вала ротора турбины и шпинделей станков, кла-

панов, а также для регулярного тихоходного перемещения деталей.

Посадки $\frac{H7}{f7}$; $\frac{H7}{f6}$ и другие применяют при соединении деталей, которые работают в основном при умеренных и постоянных скоростях и при безударной нагрузке, например вращающиеся в подшипниках валы (коленчатые, кулачковые) и шпиндели.

Посадки $\frac{H8}{e8}$; $\frac{H7}{e7}$; $\frac{H7}{e8}$ имеют относительно большие зазоры и применяются для подвижных соединений при тех же условиях, что и ходовые, но при большей длине втулки или большем количестве опор, а также при скоростях свыше 1000 об/мин. Примеры применения соединений: цапф валов с втулками подшипников в центробежных насосах, приводах шлифовальных станков, турбогенераторах; валов холостых шкивов и свободно вращающихся колес; вала масляного насоса с крышкой; точных шариковых и вильчатых шарниров.

Посадки $\frac{H8}{d9}$; $\frac{H9}{d9}$ и другие характеризуются относительно большими зазорами и применяются для соединения деталей, работающих с большими скоростями, когда по условиям работы деталей допускаются неточное центрирование, перекосы и прогибы; при большой длине посадки; в многоопорных соединениях; для соединения деталей, размеры которых изменяются под влиянием температуры во время работы машины или работающих в неблагоприятных условиях (загрязненность), например в сельскохозяйственных, дорожных и других машинах, а также для поршней с цилиндрами и валов турбогенераторов, различных клапанов со втулками, поршневых колец в компрессорах.

Посадка $\frac{H7}{c8}$ применяется для соединения деталей, работающих при высокой температуре, например в различных тепловых двигателях, когда рабочий зазор может существенно уменьшаться вследствие неодинакового теплового расширения деталей.

Посадки $\frac{H7}{n6}$; $\frac{H8}{n7}$; $\frac{N7}{h6}$ применяются относительно редко, в частности при больших динамических нагрузках (удар, вибрация), в том случае, когда разборка предусмотрена только при капитальном ремонте машин.

Посадки $\frac{H7}{m6}$; $\frac{M7}{h7}$ применяются при менее прочном материале деталей или более частой сборке сборочных единиц, а также при длине втулки более $1,5 d$ или более тонких стенках втулок. Примерами применения этих посадок являются соединения: валов и осей с кулачковыми муфтами, маховичками, шкивами и рычагами; конических зубчатых колес и червячных передач, роторов электромашин.

Посадки $\frac{H7}{k6}$; $\frac{K7}{h6}$ дают хорошую точность центрирования и обеспечивают быструю сборку и разборку деталей при помощи легких молотков. Их применяют для быстроходных шкивов, колес редукторов, маховичков, рукояток, муфт, установочных колес, пальцев крейцкопфов, компрессоров, сменных втулок в колесах и подшипниках.

Посадки $\frac{H7}{js6}$; $\frac{J_{s7}}{h6}$ применяются при необходимости частой и быстрой сборки и разборки, а также вместо напряженной посадки при длине втулки более $1,5 d$. Эти посадки обеспечивают медленное осевое перемещение деталей и хорошее центрирование их, например сменных колес, центрирующих штифтов.

Посадки с натягом введены как ориентировочные. При выборе посадки конструктор должен производить расчет натягов и учитывать все факторы, влияющие на их выбор. После выбора посадки ее проверяют опытным путем.

§ 8. Допуски и посадки подшипников качения

В современных машинах и приборах подшипники скольжения все более заменяются подшипниками качения, т. е. шариковыми или роликовыми подшипниками.

По точности изготовления подшипники подразделяются на пять классов (ГОСТ 520—71 и СТ СЭВ 773—77): 0, 6, 5, 4, 2. Класс точности указывается впереди номера подшипника: например, 6-205 или по ИСО Р6-205. Здесь цифры: 6 — класс подшипника, 205 — номер подшипника.

Диаметры наружного D_m и внутреннего d_m колец подшипника принимаются соответственно за основной вал, обозначаемый hB , и основное отверстие — KB (бук-

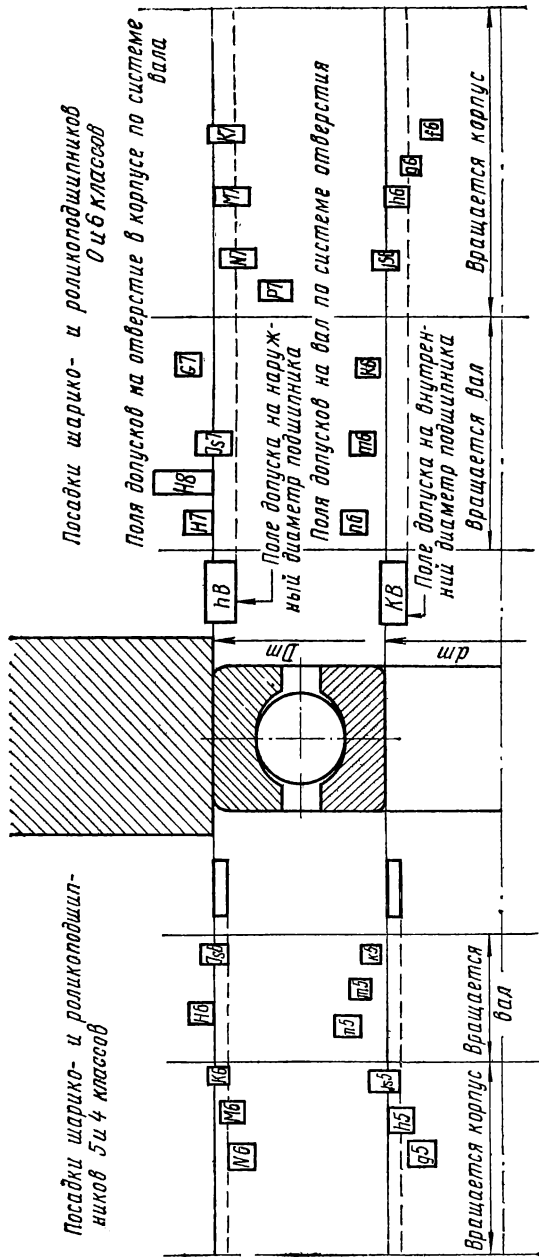


Рис. 10. Посадки по присоединительным размерам шарикоподшипников

6. Поля допусков подшипников качения

Класс точности подшипника	Поля допусков по ЕСДП СЭВ		Поля допусков по ОСТ
	вала	отверстия корпуса	вала и отверстия корпуса
0 и 6	—	<i>P7</i>	<i>P7</i>
	<i>n6</i>	<i>N7</i>	<i>Г</i>
	<i>m6</i>	<i>M7</i>	<i>Т</i>
	<i>k6</i>	<i>K7</i>	<i>Н</i>
	<i>j_s6; j6</i>	<i>J_s7; J7</i>	<i>П</i>
	<i>h6; h7</i>	<i>H7; H8</i>	<i>С; С₃</i>
	<i>h8</i>	<i>H9</i>	<i>С₃</i>
	<i>g6</i>	<i>G7</i>	<i>Д</i>
	<i>f7</i>	<i>F8</i>	<i>Х</i>
5 и 4	<i>n5</i>	<i>N6</i>	<i>Г₁</i>
	<i>m5</i>	<i>M6</i>	<i>Т₁</i>
	<i>k5</i>	<i>K5</i>	<i>Н₁</i>
	<i>j_s5; j5</i>	<i>J_s6; J6</i>	<i>П₁</i>
	<i>h5</i>	<i>H6</i>	<i>С₁</i>
	<i>g5</i>	<i>G6</i>	<i>Д₁</i>

Примечание. Подшипники класса 2 поставляются в основном по специальным заказам.

ва *B* означает «подшипник» от английского слова *Beating*). Следовательно, посадка наружного кольца с корпусом осуществляется в системе вала, а внутреннего с валом — в системе отверстия. Специальных полей допусков для образования посадок с подшипником нет, а используются поля допусков из СТ СЭВ 144—75 (табл. 6). Схема расположения некоторых полей допусков показана на рис. 10.

К валам и отверстиям (в корпусе), обрабатываемым под посадки для соединения с подшипником, предъявляются определенные требования по шероховатости поверхности и геометрической форме цилиндра. Так, конусообразность и овальность для классов 0 и 6 может составлять не более 0,5 допуска на размер, а для посадок с подшипниками классов 4 и 5 — не более 0,25.

Так как на сопрягаемые диаметры самих подшипников качения предусмотрены специальные допуски (по величине и знаку отклонения), а допуски на диаметры валов и отверстий в корпусах берутся из общей системы допусков на гладкие изделия, то при сопряжении с подшипником вала или отверстия в корпусе характер посадки будет отличаться от одноименных посадок обычных гладких цилиндрических сопряжений. Так, валы, обработанные с полями допусков под переходные посадки, сопрягаются с подшипником только с натягом, а с полями допусков по $h5$; $h6$; $g5$ и $g6$ характер посадки будет типа переходных, т. е. с натягом или с зазором (см. рис. 10).

При выборе посадок по присоединительным поверхностям подшипника учитывают величину и направление действующих на подшипник нагрузок, частоту вращения, тип подшипника, температуру его, условия монтажа и вид нагружения, зависящий от того, вращается или не вращается кольцо относительно радиальной нагрузки. Нагружение может быть местным, циркуляционным и колебательным.

Кольцо испытывает местное нагружение, если оно относительно радиальной нагрузки не вращается, и нагрузки воспринимает лишь определенный участок дорожки качения этого кольца. В этом случае посадка назначается с зазором.

При циркуляционном нагружении кольца радиальная нагрузка относительно кольца (или кольцо относительно нагрузки) вращается. Тела качения в процессе вра-

7. Поля допусков для различных видов нагружения колец подшипников

Вид нагружения кольца	Поля допусков	
	внутреннего кольца на вал	наружного кольца в корпус
Местное	$h5; h6; j_{s5}; j_{s6}; g6; f6$	$H6; H7; H8; J_{s6}; J_{s7}; G7$
Циркуляционное	$n6; m6; k6; n5; m5; k5$	$K7; M7; N7; P7; K6; M6; N6$
Колебательное	$j_{s6}; j_{s5}$	$J_{s7}; J_{s6}$

щения передают воспринимаемую ими радиальную нагрузку дорожке качения последовательно по всей окружности. Посадка назначается с натягом.

При колебательном нагружении на кольцо одновременно действуют постоянная по направлению сила и вращающая сила. Характер нагрузки, приложенной к кольцу, в каждый момент времени определяется равнодействующей этих сил, а посадка выбирается из числа плотно подвижных.

В табл. 7 приведены поля допусков, рекомендуемые для различных видов нагружения колец подшипников.

При вращающемся вале соединение внутреннего кольца подшипника должно быть неподвижным (с натягом), а по наружному диаметру подшипника возможен и небольшой зазор.

Если вал неподвижен, а вращается корпус с наружным кольцом подшипника (например, в колесе автомобиля), то неподвижная посадка должна быть по наружному диаметру подшипника, а по внутреннему диаметру подшипника с валом может быть и небольшой зазор.

При таком назначении посадок — неподвижной по внутреннему кольцу подшипника и подвижной по наружному (при вращающемся вале) и, наоборот, подвижной по внутреннему кольцу и неподвижной по наружному (при неподвижном вале) обеспечивается медленное провертывание невращающегося кольца в работающем подшипнике. Провертывание кольца содействует равномер-

ному износу его дорожки качения, что ведет к увеличению срока службы подшипника.

Общая методика выбора посадки для сопряжения подшипника с валом и корпусом, а следовательно, и выбор допусков для обработки валов и отверстий в корпусах предусмотрены СТ СЭВ 773—77.

§ 9. Селективная сборка как мероприятие повышения точности посадок и удешевления производства

Непрерывное совершенствование машин и приборов требует повышения точности обработки деталей и сборки сборочных единиц. Если эти повышенные требования удовлетворять только за счет уменьшения допусков, т. е. повышением точности изготовления детали, то это усложнит и удорожит изготовление деталей и сборку машин, а следовательно, и стоимость их.

Повысить точность сборки сборочных единиц и машин можно не только уменьшением допуска на обработку, но и применением селективного метода сборки.

Сущность этого метода заключается в том, что на обработку заготовок устанавливают технологически приемлемые допуски, т. е. относительно большие, а точность сборки повышают за счет сортировки изготовленных деталей по размерам на группы. В этом случае чертежный допуск делят на число сортируемых групп.

Влияние селективной сборки на точность посадки можно показать на примере стандартной посадки в виде $\frac{H7}{f7}$ (рис. 11), у которой отверстие имеет обо-

значение $60H7^{(+0,03)}$, а вал $60f7 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ 0,06 \end{smallmatrix} \right)$. Эта посадка характеризуется наибольшим зазором 90 мкм и допуском посадки (зазора), равным 60 мкм ($90 - 30 = 60$ мкм).

Допустим, что более совершенная конструкция машины требует повышения точности сборки и доведения допуска посадки до 30 мкм. Так как допуск посадки (зазора) равен сумме допусков вала и отверстия, то для обеспечения такой точности нужно уменьшить допуск на обработку отверстия и допуск вала в два раза. Но этого можно избежать, а требующуюся точность посадки получить селективной сборкой, т. е. сортировкой деталей после их изготовления по размерам на две группы,

Ко второй группе отверстий ($\varnothing 60H7$) отнесем детали с размерами от 60 до 60,015, а к первой группе — детали с размерами от 60,015 до 60,03 мм.

Ко второй группе валов ($\varnothing 60f7$) отнесем детали с размерами от 59,940 до 59,955 мм, а к первой группе — с размерами от 59,955 до 59,970 мм. Соединяя отверстия

первой группы с валами первой группы, получим наибольший зазор 75 мкм, наименьший зазор 45 мкм и допуск посадки 30 мкм. Соединяя отверстия второй группы с валами второй группы, получим такие же величины зазоров и такой же допуск посадки. В результате применения селективной сборки наибольший зазор уменьшился, а наименьший зазор увеличился, величина допуска посадки уменьшилась вдвое, т. е. точность повысилась до заданной.

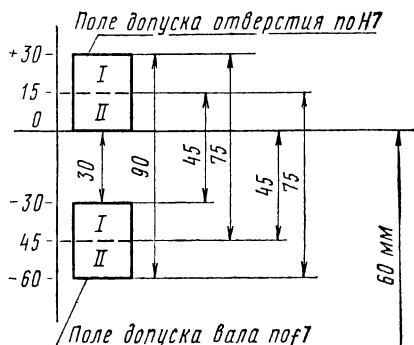


Рис. 11. Графическое изображение посадки при сортировке деталей по размерам на две группы

К недостаткам метода селективной сборки машин относятся повышенные требования к технологическим процессам изготовления деталей, так как отклонения формы (некруглость, конусообразность и др.) по величине не должны выходить из группового поля допуска. В то же время без селективной сборки возможные отклонения формы цилиндра могут быть в пределах всего поля допуска по чертежу. Кроме этого, при селективной сборке получается неполная (ограниченная) взаимозаменяемость и появляется дополнительная операция сортировки изготовленных деталей по размерам на группы. Так как на сборке могут сопрягаться детали только одной определенной группы, которая определяется размерами деталей, то усложняется учет и планирование задела деталей.

Преимущества селективной сборки заключаются в высокой точности соединений, большей производительности труда при обработке с увеличенным допуском,

меньших потерях от брака и снижении себестоимости изделий.

§ 10. Допуски свободных размеров и деталей из пластмасс

Свободными размерами называются размеры, на которые в технических документах допускаемые предельные отклонения при обработке не указаны, а оговорены общей записью: «Неуказанные предельные отклонения размеров по...». Неуказанные предельные отклонения линейных размеров, кроме радиусов закругления и фасок, могут назначаться одним из двух способов:

1) по квалитетам IT для размеров менее 1 мм — от 11-го по 13-й, а для размеров от 1 до 10 000 мм — от 12-го до 17-й;

2) по условным классам точности, которые называются точный, средний, грубый и очень грубый и обозначаются t .

Числовые значения предельных отклонений по t приведены в СТ СЭВ 302—76 «Предельные отклонения размеров с неуказанными допусками», а по квалитетам — в СТ СЭВ 145—75 и СТ СЭВ 177—75.

В СТ СЭВ 302—76 рекомендуется предельные отклонения размеров металлических деталей, полученных обработкой резанием, назначать по $IT14$ или по классу точности «средний». Числовые значения предельных отклонений по классам точности установлены грубым округлением числовых значений по квалитетам: точный класс — $IT12$, средний — $IT14$, грубый — $IT16$ и очень грубый — $IT17$.

Неуказанные предельные отклонения радиусов закругления и фасок устанавливаются в зависимости от квалитета или класса точности предельных отклонений линейных размеров.

Поля допусков деталей из пластмасс по СТ СЭВ 179—75. Стандарт распространяется на гладкие сопрягаемые и несопрягаемые элементы деталей из пластмасс с размерами от 1 до 500 мм. Установленные поля допусков (от 7-го по 13-й квалитет) взяты из СТ СЭВ 144—75, а некоторые образованы по сочетаниям значений основных отверстий с допусками квалитетов по установленной методике (см. гл. II, § 2).

При установлении полей допусков учитывались особенности деталей из пластмасс в сравнении с металлическими.

Например, большой коэффициент линейного расширения пластмасс и свойство их поглощать влагу из воздуха (гигроскопичность материала) приводят к существенным изменениям размеров деталей при отклонении от нормальной температуры (20°C) и при насыщении их водой, маслом и т. п. Исходным условием установлена относительная влажность воздуха 65 %.

Посадка образуется как по системе отверстия, так и по системе вала. Если детали из пластмасс сопрягаются с металлическими, то для их изготовления рекомендуются допуски для вала с $h7$ по $h12$, а для отверстий с $H7$ по $H12$. В стандарте приводятся рекомендуемые посадки — 42 в системе отверстия и 39 в системе вала.

Одновременно отмечается, что если в соединениях пластмассовых деталей друг с другом требуются зазоры или натяги большие, чем предусмотрены в рекомендуемых посадках, могут быть целесообразны посадки комбинированные (сопряжения полей допусков отверстий из системы вала с полями допусков валов из системы отверстия).

Вопросы для повторения

1. Что понимается под системой отверстия и системой вала?
2. Почему установлены предпочтительные поля допусков и как ими пользоваться?
3. Что понимается под комбинированной посадкой?
4. Когда применяются посадки с натягом, переходные и подвижные и что учитывается при выборе их?
5. Что учитывается при выборе посадок подшипников качения по внутреннему и наружному диаметрам?
6. Как обозначаются допуски на размеры в сборочных и рабочих чертежах? Приведите примеры.
7. С какой целью применяется селективная сборка?
8. Почему введена Единая система допусков и посадок СЭВ?
9. Какие размеры охватывает система СЭВ и как обозначаются в ней поля допусков и посадки? Приведите примеры.

ДОПУСКИ НА ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ, РАСПОЛОЖЕНИЯ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

§ 1. Понятия о номинальных, реальных и прилегающих поверхностях

В машиностроении детали конструируют обычно из простейших геометрических фигур, так как это упрощает изготовление. Наиболее часто отдельные детали или отдельные части их делают в виде плоскости или цилиндра. Более редко применяют детали в виде других геометрических фигур.

Однако вследствие целого ряда причин, влияющих на изготовление, строгая геометрическая форма деталей не выдерживается. Это приводит к тому, что на отклонения от правильной геометрической формы устанавливают отдельные нормы. Кроме того, каждая деталь имеет целый ряд поверхностей, и необходимо, чтобы они правильно располагались одна относительно другой. Например, обычный цилиндрический валик имеет цилиндрическую поверхность, а с торца — плоскую. Необходимо, чтобы торцовая плоскость была перпендикулярна цилиндрической.

Очень редко деталь представляет собой вал одного диаметра. Чаще всего это бывают так называемые ступенчатые валики, состоящие из отдельных цилиндров разных диаметров. Часто требуется, чтобы оси этих цилиндров располагались на одной прямой. А поскольку абсолютно точно поверхности детали между собой расположить не представляется возможным, то возникает необходимость нормировать отклонения на взаимное расположение поверхностей.

Отклонения от заданной формы искажают характер сопряжения деталей при сборке и ухудшают качество работы сборочных единиц и машины в целом. Поэтому в зависимости от назначения деталей и сборочных единиц и условий их работы конструктор ограничивает величины возможных отклонений форм и расположения поверхностей допусками, предусмотренными СТ СЭВ 636—77.

Термины и определения для установления единых

понятий об отклонениях при оценке качества деталей всеми работниками завода (конструкторами, рабочими, контролерами и т. д.) предусматривает СТ СЭВ 301—76.

Для нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения поверхностей введены следующие понятия.

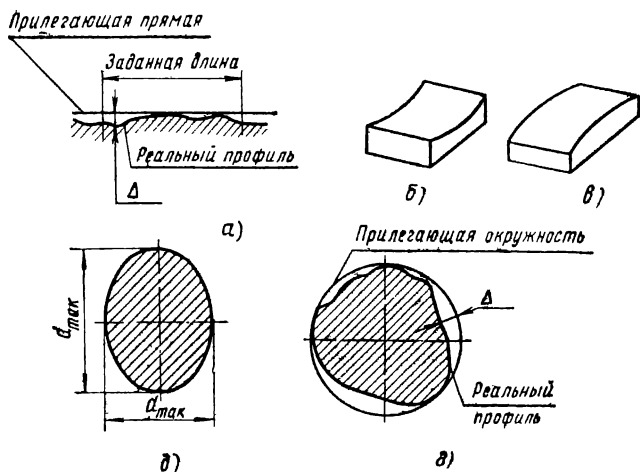


Рис. 12. Отклонения формы:

а — прямолинейность, б — вогнутость, в — выпуклость, г — круглость, д — овальность

Реальная (действительная) поверхность — поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды. Она имеет отклонения формы, волнистость и шероховатость.

Номинальная поверхность — идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

Базовая поверхность — поверхность, имеющая форму номинальной поверхности и служащая базой для количественной оценки отклонения формы реальной поверхности. В качестве баз для количественной оценки отклонения формы устанавливают прилегающую поверхность (плоскость, цилиндр, прямую, окружность, профиль).

Прилегающая поверхность — поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с

реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности имело минимальное значение (рис. 12, а).

Стандартные определения и предельные отклонения установлены для плоскостей, формы цилиндра в поперечном и продольном сечении, взаимного положения поверхностей, осей и поверхностей.

СТ СЭВ подразделяет все отклонения формы и расположения на три группы: отклонения и допуски формы, отклонения и допуски расположения и суммарные отклонения и допуски формы и расположения. Для каждого вида допуска формы или расположения установлено 16 степеней точности (с 1-й по 16-ю), включающих как точные (1-я степень), так и грубые (16-я степень) допуски. В пределах одной степени точности стандартом СТ СЭВ 636—77 установлены три уровня относительной точности А, В и С, определяемые соотношением допусков формы и размера, при которых допуски формы составляют соответственно 60, 40 и 25 % от допуска размера.

Кроме степеней точности в стандарте предусмотрен и основной ряд числовых значений допусков формы и расположения без связи с номинальными размерами.

§ 2. Отклонения и допуски формы

К отклонениям формы относятся отклонения плоских и цилиндрических деталей.

Плоские поверхности детали характеризуются отклонениями от плоскостности и прямолинейности. Отклонения от плоскостности определяются наибольшим расстоянием точек плоскости детали до прилегающей плоскости. Отклонение от прямолинейности (рис. 12, а) определяется как отклонение от прямой линии поверхности детали в заданном направлении.

Частными видами отклонения от прямолинейности и плоскостности являются вогнутость и выпуклость (рис. 12, б и в).

Отклонения формы детали в виде цилиндра характеризуются отклонением от цилиндричности, под которой понимаются отклонения поверхности детали от идеального цилиндра.

Чтобы можно было производить измерения непосред-

ственно на производстве, нормируются два вида отклонений: отклонения профиля в поперечном и продольном сечениях.

Отклонения в поперечном сечении цилиндра характеризуются отклонением от круглости (рис. 12, *г*), под которым понимается также наибольшее отклонение

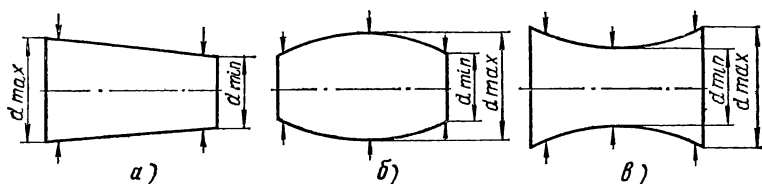


Рис. 13. Отклонения формы продольного сечения:
а — конусообразность, *б* — бочкообразность, *в* — седлообразность

реальных точек контролируемой детали от идеальной окружности, которая ее охватывает. Частными показателями круглости являются овальность (рис. 12, *д*), которая определяется как

$$\frac{d_{\max} - d_{\min}}{2},$$

и огранка. Под огранкой понимается фигура, состоящая из нескольких граней вместо плавной окружности. На рис. 12, *е* показана четко выраженная трехгранная огранка.

Частными видами отклонения профиля продольного сечения цилиндра являются конусообразность (рис. 13, *а*), бочкообразность (рис. 13, *б*), седлообразность (рис. 13, *в*), которые определяются как

$$\frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}.$$

§ 3. Отклонения и допуски расположения

Типовыми видами отклонений от правильного расположения поверхностей и осей стандартом выделены отклонения от параллельности (рис. 14, *а* и *б*), перпендикулярности (рис. 14, *в*, *г* и *д*), соосности (рис. 14, *е*) и симметричности (рис. 14, *ж*).

Кроме перечисленных отклонений расположения в СТ СЭВ 301—76 введено отклонение или допуск наклона, который позволяет нормировать любой номинальный угол (кроме 0 и 90°) методом, аналогичным допус-

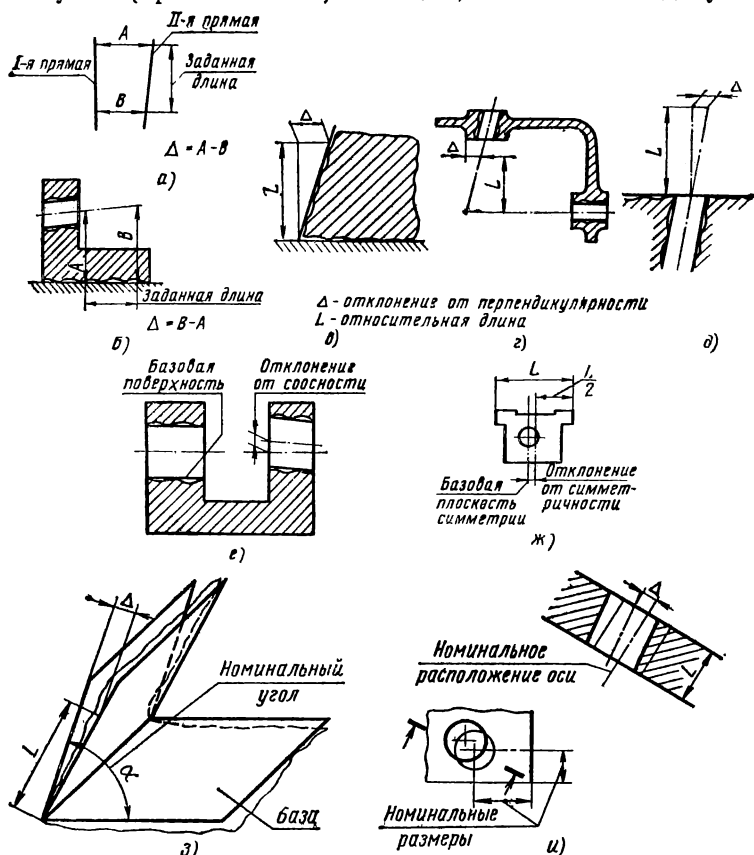


Рис. 14 Виды отклонений расположения поверхностей и осей:

а — от параллельности плоскостей, б — от параллельности оси и плоскости, в — от перпендикулярности плоскостей, г — от перпендикулярности осей, д — от перпендикулярности оси и плоскости, е — от соосности, ж — от симметричности, з — наклона, и — позиционное

кам перпендикулярности и параллельности, и позиционное отклонение. Допуск наклона целесообразно применять, когда для монтажа или функционирования имеет значение линейное отклонение на всей длине элемента.

Допуск наклона ограничивает отклонения, симметричные относительно номинального значения угла. Во всех случаях, когда важно ограничить непосредственно отклонения угла или отклонения должны быть односторонними, следует переходить к назначению допусков угловых размеров.

Отклонение наклона — отклонение угла между плоскостью и базовой плоскостью или базовой осью от номинального угла, выраженное в линейных единицах Δ на длине нормируемого участка (рис. 14, з).

Позиционное отклонение (смещение оси от номинального расположения) есть наибольшее расстояние Δ между реальным расположением элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка (рис. 14, и).

Допуски соосности, симметричности, пересечения осей и позиционные можно задавать в чертежах в радиусном или диаметрально выражениях. Различие между допусками в диаметрально и радиусном выражениях обеспечивается указанием дополнительного знака перед числовым значением (табл. 8). Предпочтение отдается диаметральному выражению.











Зависимые и независимые допуски расположения. СТ СЭВ 301—76 предусматривает два вида допусков расположения охватывающих и охватываемых поверхностей — зависимых и независимых. Величина зависимого допуска расположения определяется действительными отклонениями размеров поверхностей деталей. Независимый допуск расположения устанавливается из функционального назначения детали или соединения и величина его не зависит от действительных отклонений поверхностей.

Зависимым называется допуск формы или расположения, минимальное значение которого указывается в чертежах или технических требованиях и которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера детали от проходного предела (наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия):

$$T_{\text{зав}} = T_{\text{min}} + T_{\text{доп}},$$

где T_{min} — минимальная часть допуска, связанная при расчете с зазором наименьшим, т. е. $T_{\text{min}} = 0,5 S_{\text{нм}}$;

8. Обозначения допусков соосности, симметричности, пересечения осей и позиционные в радиусном и диаметрально выраженнии

Вид допуска	Обозначение	
	в радиусном выражении	в диаметрально выражении
Допуск соосности		
Допуск симметричности		
Позиционный допуск: оси		
плоскости симметрии		
Допуск пересечения		

$T_{\text{доп}}$ — дополнительная часть допуска, зависящая от действительных размеров рассматриваемых поверхностей.

Зависимые допуски расположения устанавливаются для деталей, которые сопрягаются с контрдеталью одновременно по двум и более поверхностям и для которых требования взаимозаменяемости сводятся к обеспечению собираемости, т. е. возможности соединения деталей по всем сопрягаемым поверхностям. Зависимые допуски связаны с зазорами между сопрягаемыми поверхностями, и предельные отклонения их должны быть в соответствии с наименьшим предельным размером охватываемой поверхности (отверстий) и наибольшим предельным размером охватываемой поверхности (валов).

На рис. 15 показана деталь с отверстиями разных размеров $\varnothing 25H8(+0,033)$ и $\varnothing 15H8(+0,027)$. Допустим, что

допуск на отклонение от соосности размеров установлен 0,05 мм, но при выполнении отверстий с наибольшими предельными размерами (25,033 и 15,027) суммарный зазор в сопряжении с контрдеталью увеличивается в сравнении с минимальным значением на величину 0,06 мм (0,033+0,027). В этом случае может быть допущена дополнительная часть допуска на отклонение от соосности, равная половине увеличенного зазора, т. е. 0,03 мм, и допустимое отклонение от соосности составит 0,08 мм (0,05+0,03). Собираемость деталей не нарушится.

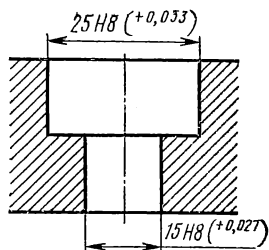


Рис. 15. Деталь с двумя отверстиями разных размеров и зависимый допуск на смещение осей

§ 4. Суммарные отклонения и допуски формы и расположения

К суммарным отклонениям формы и расположения относятся все виды биений.

Радиальное биение — результат проявления эксцентриситета и отклонений от круглости. Определяется радиальное биение как разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис. 16, а).

Схема измерения радиального биения показана на рис. 16, б.

Торцовое биение есть разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси (рис. 16, в). Торцовое биение является результатом проявления отклонений от перпендикулярности торцевой поверхности относительно базовой оси и отклонений от плоскостности на измеряемом диаметре.

Кроме радиального и торцевого биения в СТ СЭВ введены полное радиальное и полное торцовое биения.

Полное радиальное биение применяется для нормирования цилиндрических поверхностей и суммарно ограничивает отклонения от цилиндричности и соосности. Определяется оно как наибольшая разность пока-

заний измерительной головки при перемещении вдоль оси детали, которая вращается вокруг базовой оси (рис. 16, *з*). При этом комплексно выявляются отклонения от соосности, круглости, прямолинейности и параллельности образующих.

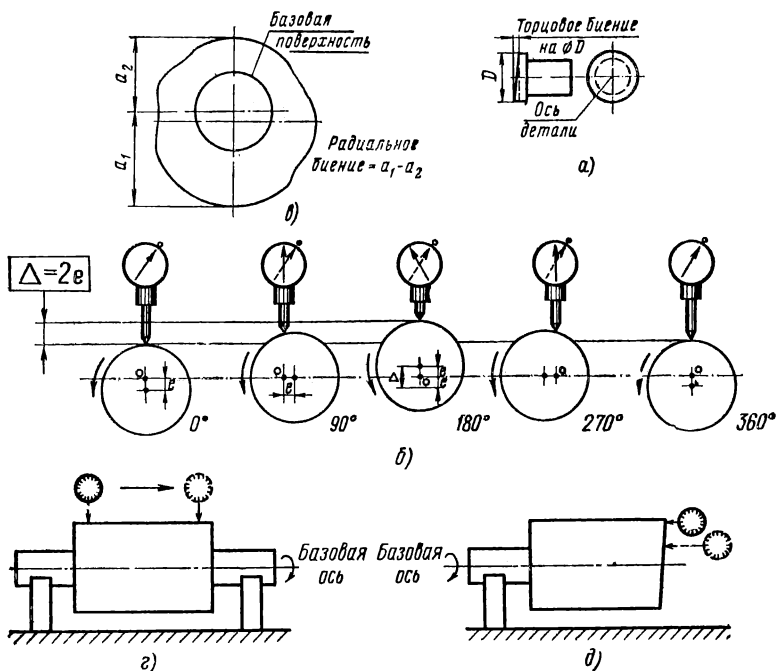




Рис. 16. Виды биений:






а — радиальное, *в* — торцовое, *г* — полное радиальное, *д* — полное торцовое;
б — схема радиального биения

Полное торцовое биение применяется к плоским торцовым элементам и суммарно ограничивает отклонения их от плоскостности и перпендикулярности. Определяется полное торцовое биение как наибольшая разность показаний измерительной головки при ее радиальном перемещении и вращении детали вокруг базовой оси (рис. 16, *д*).

К суммарным характеристикам следует отнести и допуск формы любого профиля или любой поверхности,

9. Обозначение допусков

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски формы	Допуск плоскостности	
	Допуск прямолинейности	—
	Допуск цилиндричности	
	Допуск круглости	○
	Допуск профиля продольного сечения	=
Допуски расположения	Допуск параллельности	//
	Допуск перпендикулярности	⊥
	Допуск соосности	⊙
	Допуск пересечения осей	×
	Допуск симметричности	≡

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски расположе- ния	Позиционный допуск	
Суммарные допуски формы и расположе- ния	Допуски радиального бие- ния Допуск торцового биения Допуск биения в заданном сечении	
	Допуск полного радиально- го биения Допуск полного торцового биения	
	Допуск формы заданного профиля	
	Допуск формы заданной поверхности	

заданных номинальными размерами относительно баз. Этот допуск ограничивает не только форму заданного профиля, но и его расположение относительно баз.

§ 5. Нанесение отклонений формы и расположения поверхностей и осей на чертежах

В целях установления единства в понимании требований на чертежах к отклонениям формы и расположению поверхностей и осей разработаны условные символические обозначения отклонений, которые приведены в табл. 9 с их наименованиями. Эти обозначения предусмотрены в ГОСТ 2.308—78, который разработан на основе стандарта СЭВ 368—76. Допускаемые отклонения формы указываются на чертеже рядом с соответст-

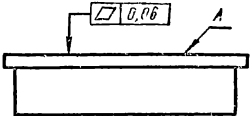
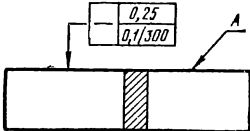
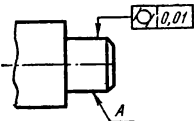
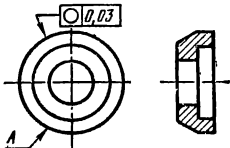
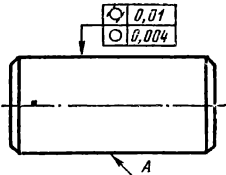
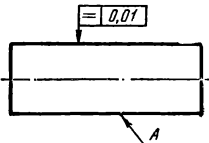
вующим символическим обозначением или текстовой записью на свободном поле чертежа. Наиболее распространен первый способ нанесения отклонений формы и расположения на чертежах, так как он требует меньше времени и более удобен для чтения чертежа. Текстовые записи на чертеже применяются в случаях, когда условные обозначения слишком затемняют чертеж или не раскрывают полностью технических требований к изготовлению детали. В текстовой части дается краткое наименование заданного отклонения и буквенное обозначение или наименование параметра (например, поверхности), для которого задается отклонение и его числовая величина. Если допускаемое отклонение относится к расположению поверхностей, то показываются еще и базы, относительно которых задано отклонение. В этом случае базой может быть линия, общая ось, площадь симметрии и др.

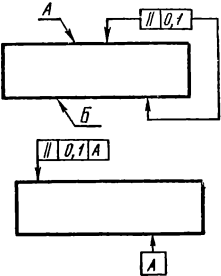
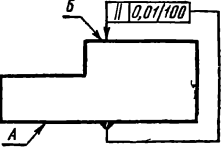
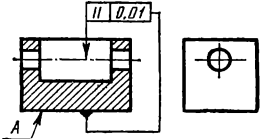
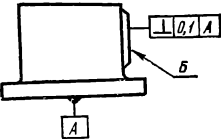
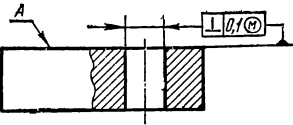
Символические обозначения и допускаемые величины отклонений формы и расположения помещают в прямоугольных рамках, которые соединяются выносной линией со стрелкой с контурной линией поверхности или с размерной линией параметра, или с осью симметрии, если отклонение относится к общей оси. Прямоугольные рамки делятся на две или три части: в первой показывается символическое обозначение отклонения, во второй — величина предельного отклонения. Третья часть рамки вводится тогда, когда нужно показать еще буквенное обозначение базовой или другой поверхности, к которой относится отклонение или какое-либо еще необходимое обозначение. Зависимый допуск обозначается буквой *M* и проставляется в кружочке в прямоугольной рамке рядом с величиной допускаемого отклонения.

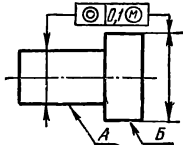
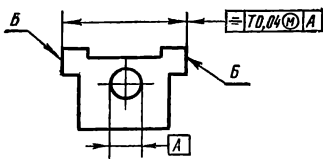
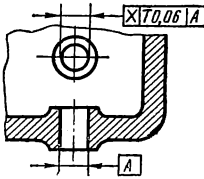
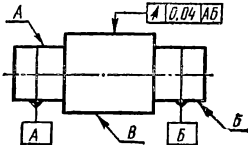
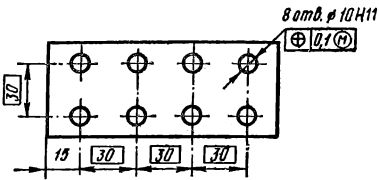
Если на чертеже большинство допусков расположения зависимы, то независимые допуски обозначаются буквой *S* и также ставятся в кружочке рядом с величиной отклонения.

Примеры нанесения предельных отклонений формы и расположения поверхностей условными обозначениями и текстовой записью приведены в табл. 10.

10. Примеры обозначений отклонений формы и расположения поверхностей

Вид допуска	Условное обозначение символами	Указание в чертеже текстовой записью
Допуск плоскостности		Допуск плоскостности поверхности <i>A</i> не более 0,06 мм
Допуск прямолинейности		Допуск прямолинейности поверхности <i>A</i> не более 0,25 мм на всей длине и не более 0,1 мм на длине 300 мм
Допуск цилиндричности		Допуск цилиндричности поверхности <i>A</i> не более 0,01 мм
Допуск круглости		Допуск круглости поверхности <i>A</i> не более 0,03 мм
Допуск цилиндричности		Допуски цилиндричности поверхности <i>A</i> не более 0,01 мм, круглости не более 0,004
Допуск профиля продольного сечения цилиндрической поверхности		Допуск профиля продольного сечения поверхности <i>A</i> не более 0,01 мм

Вид допуска	Условное обозначение символами	Указание в чертеже текстовой записью
Допуск параллельности		Допуск параллельности поверхностей А и В не более 0,1 мм
		Допуск параллельности поверхности В относительно поверхности А не более 0,01 мм на длине 100 мм
		Допуск параллельности общей оси отверстий относительно поверхности А не более 0,01 мм
Допуск перпендикулярности		Допуск перпендикулярности поверхности В относительно основания не более 0,01
		Допуск перпендикулярности оси отверстия В относительно поверхности А не более 0,1 мм (допуск зависимый)

Вид допуска	Условное обозначение символами	Указание в чертеже текстовой записью
Допуск соосности		<p>Допуск соосности поверхностей <i>A</i> и <i>Б</i> не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>
Допуск симметричности		<p>Допуск симметричности поверхности <i>Б</i> относительно оси отверстия не более 0,04 мм (допуск зависимый)</p>
Допуск пересечения		<p>Допуск пересечения осей отверстий не более 0,06 мм</p>
Допуск радиального биения		<p>Допуск радиального биения поверхности <i>В</i> относительно общей оси поверхностей <i>A</i> и <i>Б</i> не более 0,04 мм</p>
Позиционный допуск		<p>Позиционный допуск восьми отверстий не более 0,1 мм (допуск зависимый)</p>

§ 6. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей

Соединения двух деталей с помощью крепежных деталей подразделяются на два типа. При соединении заклепками или болтами (рис. 17, а) зазоры для прохода крепежных деталей предусматриваются в обеих соединяемых деталях 1 и 2. При соединении винтами

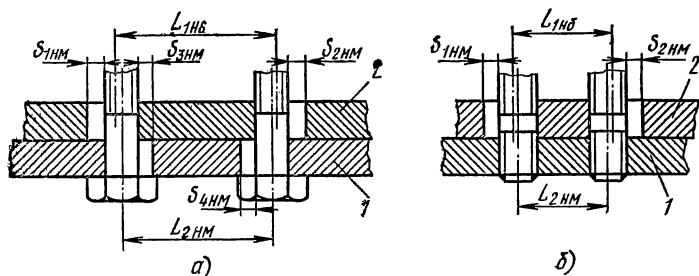


Рис. 17. Два вида соединения деталей:
а — болтами, б — шпильками

и шпильками (рис. 17, б) зазоры для прохода крепежной детали предусматриваются только в одной из соединяемых деталей 2.

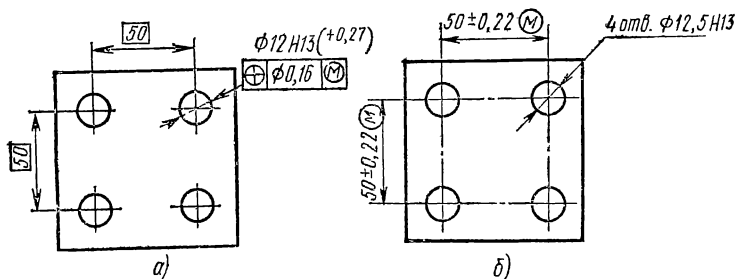


Рис. 18. Простановка допусков на расположение осей отверстий:
а — позиционным отклонением, б — отклонениями размеров, координирующих оси отверстия

Допуски расположения осей отверстий можно указывать или предельным смещением осей отверстий от номинального расположения (рис. 18, а), или предельны-

ми отклонениями размеров, координирующих оси отверстий (рис. 18, б).

В стандарте приводятся величины предельных смещений осей отверстий от 0,01 до 8 мм, при выборе которых учитывают тип соединения, величину зазора для прохода крепежных деталей и условия сборки. В приложении к стандарту даются методические указания по расчету и выбору предельных смещений осей отверстий от номинального расположения и предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей рекомендуется задавать зависимыми с обозначением M , величины которых зависят от фактических предельных отклонений размеров деталей. В этом случае действительное отклонение может превышать заданное. Предельное смещение осей отверстий $\Delta_{\text{рас}}$ от номинального расположения определяется по формуле $\Delta_{\text{рас}} = Kz'$, где K — коэффициент (для соединения 1-го типа $K=0,5$, а для 2-го типа (см. рис. 17, а) $K=0,25$); z' — часть наименьшего зазора z между отверстием и крепежной деталью, которая может быть использована для компенсации смещения осей отверстий от номинального расположения. Зазор z' необходим для обеспечения легкости сборки и регулирования взаимного положения соединяемых деталей и для компенсации других погрешностей расположения поверхностей соединяемых и крепежных деталей (несоосности, неперпендикулярности).

Пример расчета допуска расположения осей четырех отверстий $\varnothing 12,5H13$, в которые входят болты $M12$ (рис. 18). Гарантированный зазор z между диаметрами отверстия и болта равен $z = 12,5 - 12 = 0,5$ мм. Для компенсации смещения осей отверстий принимаем 60 % гарантированного зазора, т. е. $z' = 0,6 z = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3$ мм. В этом случае $\Delta_{\text{рас}} = 0,5 z' = 0,5 \times 0,3 = 0,15$. Ближайшим стандартным значением предельного смещения осей отверстий будет 0,16 мм (СТ СЭВ 637—77), которое и указываем в чертеже. Если требуется указать в чертеже предельное отклонение этих размеров, координирующих оси отверстий (рис. 18, б), то по другой таблице стандарта находим, что при допуске на смещение осей отверстий, равном 0,16 мм, предельное отклонение размеров будет равно 0,22 мм.

Контроль расположения осей отверстий осуществляется или комплексным методом (калибром), или по-

элементным путем определения отклонений размеров, координирующих оси отверстия (косвенное измерение). При расхождении в оценке годности изделий арбитражными считаются результаты комплексного контроля.

§ 7. Шероховатость поверхности и ее нормирование допусками

Поверхности деталей после обработки не являются идеально гладкими, так как режущие кромки инструментов и зерна шлифовальных кругов оставляют на поверхности следы в виде неровностей и гребешков,

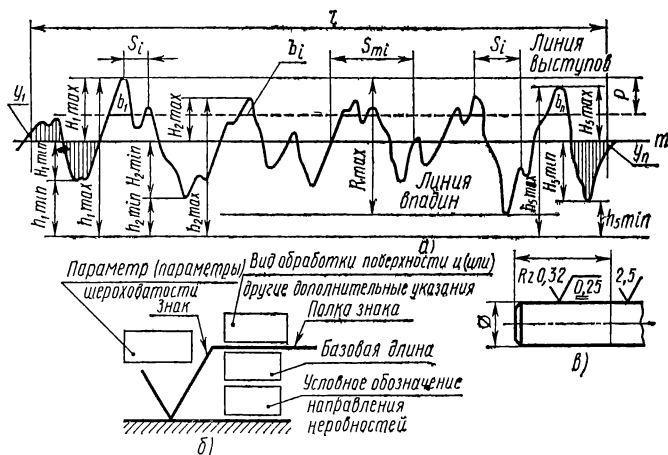


Рис. 19. Обозначение шероховатости поверхности:

а — профилограмма шероховатости поверхности, **б** — структура обозначения шероховатости поверхности, **в** — пример обозначения

близко расположенных друг к другу (рис. 19). Совокупность всех неровностей на рассматриваемой поверхности называется шероховатостью.

Шероховатость поверхностей ухудшает качественные показатели работы деталей. В подвижных посадках шероховатость приводит к преждевременному износу поверхностей, так как при работе деталей металлические гребешки стираются, смешиваются с маслом и ускоряют процесс износа поверхностей. При неподвижных посадках шероховатость ослабляет прочность соединения, так как при измерении размер у вала получается

завышенный, а у отверстия заниженный и при снятии гребешков натяги в соединении станут меньше. Шероховатость поверхностей ухудшает герметичность соединений и антикоррозионную стойкость их.

Если провести среднюю линию в сечении гребешков (линия OX на рис. 19) и опустить перпендикуляры от отдельных точек профиля к этой средней линии, то сумма расстояний y_1, y_2 и т. д., деленная на количество n , будет средним арифметическим отклонением профиля поверхности от средней линии, она обозначается Ra :

$$Ra = \frac{|y_1 + y_2 + \dots + y_n|}{n}.$$

Числовое значение параметра Ra в мкм используется для оценки шероховатости. Но для оценки шероховатости пользуются еще вторым показателем — средней высотой неровности по 10 точкам (обозначается Rz). Для определения величины Rz параллельно средней линии OX ниже профиля поверхности проводят линию и на нее опускают перпендикуляр из высших точек выступов и низших точек впадин (расстояние $h_{1\text{ min}}, h_{1\text{ max}}, h_{2\text{ min}}$ и т. д. на рис. 19).

За величину неровностей Rz принимают среднее расстояние между пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин:

$$Rz = \frac{(h_{1\text{ max}} + \dots + h_{5\text{ max}}) - (h_{1\text{ min}} + \dots + h_{5\text{ min}})}{5}.$$

Пять высших точек выступов и пять низших точек впадин (см. рис. 19) берутся в пределах так называемой базовой длины l , под которой понимается длина участка поверхности, принимаемая для измерения шероховатости.

Данные два показателя шероховатости предусматривались в ГОСТ 2789—59, который с 1 января 1975 г. заменен новым ГОСТ 2789—73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики», а с 1981 г. заменяется СТ СЭВ 638—77. Новый стандарт предусматривает шесть параметров, из них: три высотных (Ra, Rz, R_{max}), два шаговых (S и S_m) и один по опорной длине профиля (t_p). К известным параметрам Ra и Rz в виде среднего арифметического отклонения профиля и высоты неровностей профиля по десяти точкам введена еще оценка наибольшей высоты профиля R_{max} . По физиче-

скому смыслу Ra характеризует высоту всех неровностей профиля, Rz — наибольших, а R_{\max} — полную высоту профиля.

Шаговый параметр S характеризует средний шаг неровностей профиля по вершинам, S_m — средний шаг неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины l . Шаговые параметры характеризуют взаимное расположение точек неровностей — вершин (максимумов) профиля и точек пересечения профиля со средней линией (нулей профиля). Их значения показываются в чертежах, когда требуется обеспечить прочность деталей при циклических нагрузках или виброустойчивость.

Относительная опорная длина профиля t_p характеризует в продольном направлении фактическую площадь контакта на заданном уровне сечения профиля и определяется как отношение опорной длины профиля к базовой длине:

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

Числовые значения приводятся в стандарте в процентах и выбираются из ряда: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 %. Параметр t_p рекомендуется задавать в чертежах при износе трущихся поверхностей, контактной жесткости и герметичности.

При выборе числовых значений параметров для отражения их в чертежах учитываются эксплуатационные условия работы деталей машин и приборов, например: трение, жидкостное трение и износ, вибрация и износ при качении, трение и износ при скольжении, контактная жесткость, сопротивление переменным нагрузкам, прочность прессовых соединений, отражательная способность и затухание в волноводах, прочность сцепления при притирании и склеивании, коррозионная стойкость, качество лакокрасочных и гальванических покрытий. Кроме этого, при нормировании шероховатости поверхности могут еще учитываться требования к точности измерений, соотношения между допусками размера и шероховатостью и т. д.

Параметры оценки шероховатости поверхностей распространяются на все виды материалов, кроме древеси-

ны, войлока, фетра и других, имеющих ворсистую поверхность.

§ 8. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах

Обозначение допусков на шероховатость в соответствии с международным стандартом регламентирует ГОСТ 2.309—73.

В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктором не устанавливается, при-

меняют знак $\sqrt{}$ Если поверхность должна быть обра-

зована удалением слоя материала, например точением, фрезерованием, сверлением, шлифованием и т. д., при-

меняют знак ∇ . Поверхность, полученная без уда-

ления слоя материала, например литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т. п., приме-

няют знак ∇ .

Значение параметра шероховатости проставляют в обозначении шероховатости для параметра Ra без символа, а для остальных параметров — после соответствующего символа одним из следующих способов:

1. Указанием предельного значения шероховатости

$$\sqrt[2,5]{\underline{0,8}} \quad Sm \sqrt{0,63} \quad t_{50} \sqrt{70}$$




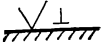
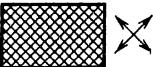

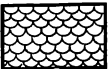

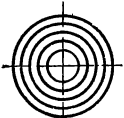

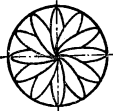
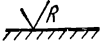
2. Указанием диапазона значений параметра шероховатости, размещая их в две строчки, например

$$\begin{array}{c} 1,00 \\ \sqrt{0,63} \end{array} \quad Rz \sqrt[20]{10} \quad t_{50} \sqrt[50]{70} \quad R_{max} \sqrt[0,80]{0,32}$$

3. Указанием номинального значения параметра шероховатости поверхности с отклонением в 10, 20 и 40 %

$$t \pm 20\% \sqrt{} \quad Rz \sqrt[80-10\%]{} \quad Sm \sqrt{0,63} \sqrt[+10\%]{}$$

11. Условные обозначения направлений неровностей поверхности

Тип направления неровностей	Схематическое изображение	Обозначение
Параллельное		
Перпендикулярное		
Перекрещивающееся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		

При указании двух и более параметров шероховатости в обозначении записывают значения параметров сверху вниз в следующем порядке: параметр высоты неровностей профиля, мкм; параметр шага неровностей профиля, мм; относительная опорная длина профиля, %.

Кроме указаний о допускаемых числовых значениях параметров может быть показано требование к направ-

лению штрихов шероховатости на поверхностях деталей. В отдельных случаях конструктор может сделать указание о конкретном методе обработки или о необходимости проводить измерения шероховатости с помощью приборов, чтобы исключить субъективный метод контроля шероховатости путем сравнения с образцами. Условные обозначения направлений неровностей поверхности и примеры обозначения шероховатости на чертежах (из ГОСТ 2.309—73) приведены в табл. 11 и на рис. 19, б.

Волнистость поверхностей. Кроме отклонения формы и шероховатости на поверхностях при обработке появляется еще волнистость. Четкая граница между шероховатостью и повторяющимися отклонениями формы (например, в виде огранки) и волнистостью пока еще не установлена. При небольших шагах волнистость как совокупность неровностей на поверхности детали близка к шероховатости, а при больших — к повторяющимся отклонениям формы. Часто волнистость представляется в виде волн как в направлении движения инструмента, так и в направлении, перпендикулярном движению инструмента. Допуски на волнистость пока не стандартизованы, но по ответственным соединениям деталей, как, например, по посадочным поверхностям подшипников качения, конструкторы устанавливают допускаемые отклонения по волнистости, которые не превышают 60 % допуска на шероховатость.

Вопросы для повторения

1. Назовите виды отклонений в продольном и поперечном сечении вала.
2. Как называются отклонения от правильного расположения поверхностей и осей?
3. Какие способы применяют для обозначения отклонений формы в чертежах? Приведите примеры обозначений.
4. Почему поверхности деталей после обработки получаются шероховатыми?
5. Какие показатели характеризуют шероховатость поверхности?
6. Если отклонения формы не обозначены в чертежах, то какими величинами они ограничиваются?
7. Приведите примеры обозначений направлений неровностей на поверхностях.
8. Приведите примеры обозначения шероховатости на чертежах.

Глава IV ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 1. Понятие о метрологии и основные положения Государственной системы измерений (ГСИ)

В практической жизни человек часто имеет дело с измерениями, которые являются одним из важнейших путей познания природы. Отраслью науки, изучающей измерения, является метрология. Слово «метрология» образовано из двух греческих слов: «метрон» — мера и «логос» — учение, следовательно, метрология — учение о мерах.

Метрология в современном понимании — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Единством измерений называется состояние измерений, при которых их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности известны с заданной вероятностью (ГОСТ 16263—70).

ГСИ предусматривает комплекс взаимосвязанных правил и положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений, результаты которых используются государственными органами, предприятиями и учреждениями СССР. Основополагающими стандартами системы регламентируются:

единицы физических величин, допущенные к применению в СССР;

термины и определения из области метрологии;
нормируемые метрологические характеристики средств измерений;

организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений;

организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений;


показатели точности измерений и формы представления результатов измерений;

методики выполнения измерений;
поверочные схемы,

В большинстве стран мира мероприятия по обеспечению единства измерений установлены законодательно. Поэтому один из разделов метрологии называется законодательной метрологией и включает комплекс общих правил, требований и норм, направленный на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений. Для введения единообразия в единицах измерений в 1978 г. был утвержден СТ СЭВ 1052—78 «Единицы физических величин» (СИ), который введен в СССР с 1 января 1979 г. как обязательный во всех областях народного хозяйства, науки, техники и при преподавании.

Система СИ исключает необходимость подробного изучения множества систем единиц.

СИ содержит семь основных единиц, которые затрагивают измерения всевозможных параметров: механических, тепловых, электрических, магнитных, световых, акустических и ионизирующих излучений и в области химии. Основными единицами установлены: метр (м) — для измерения длины; килограмм (кг) — для измерения массы; секунда (с) — для измерения времени; Кельвин (К) — для измерения температуры; ампер (А) — для измерения силы электрического тока; кандела (свеча) кд — для измерения силы света и моль — для измерения количества вещества.

Единица длины. До 1960 г. за международный эталон (а также и эталон СССР) длины 1 м принималось расстояние между серединами двух штрихов на бруске  образного сечения, сделанном из сплава платины с иридием. У этого эталона расстояние между серединами штрихов было невозможно измерить точнее $\pm 0,1$ мкм, что не отвечало требованиям современного состояния науки и техники. Недостатком эталона являлось и то, что он представлял собой металлический брусок, который при стихийном бедствии (например, землетрясении или наводнении) мог пропасть или потерять со временем точное значение метра.

В новой системе единиц 1 м выражен в длинах световых волн атома криптона (газа), т. е. связан с естественной (природной) величиной. Теперь «метр — это длина, равная 1 650 763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего оранжевой линии спектра криптона-86»,

Как известно, возбужденные пары и газы (например, криптон) излучают свет, который распространяется волнообразно и в спектре света образует ряд линий разного цвета. Оранжевая линия спектра этого света, принятая в качестве эталонной, имеет строго определенную длину, равную 0,6057 мкм.

Так как метр состоит из 1 млн. микрометров (мкм), то на длине эталона укладывается 1 650 763,73 длин световых волн.

При новом эталоне длина 1 м воспроизводится сейчас с погрешностью 0,002 мкм, которая меньше погрешности старого искусственного эталона метра в 50 раз.

Для воспроизведения метра в длинах световых волн создана специальная установка, основной частью которой является лампа в виде разрядной трубки, наполненная газом — криптоном.

Единица температуры. Кельвин — единица по термодинамической температурной шкале. Эта температурная шкала впервые была предложена английским физиком У. Томсоном (лорд Кельвин) еще в 1848 г. По этой шкале (рис. 20) нулевым значением температуры является абсолютный нуль ($-273,15^{\circ}\text{C}$), а температура тройной точки воды составляет 273,16 К, или по Цельсию $+0,01^{\circ}\text{C}$. Под тройной точкой воды понимают точку равновесия воды в твердой, жидкой и газообразной фазе. Такая точка получается, если нагреть лед до $+0,01^{\circ}\text{C}$ в специальной установке с точностью $\pm 0,0001^{\circ}\text{C}$.

Существующая с 1742 г. и широко распространенная шкала Цельсия, в которой точка таяния льда принимается равной 0° , а точка кипения воды 100° , не обеспечивает необходимой точности измерений. Практически установлено, что погрешность при определении точки начала кипения воды колеблется от 0,01 до $0,002^{\circ}\text{C}$.

С принятием в качестве основной шкалы Кельвина, точность которой зависит только от погрешности определения одной — тройной точки воды ($\pm 0,0001^{\circ}$), погрешность эталонных измерений уменьшается не менее чем в 50 раз.

Шкала в кельвинах является эталонной и предпочтительной при расчетах, так как в ней нет минусовых температур, а только положительные, т. е. со знаком «+».

Для быта и производства сохранена температурная шкала в градусах Цельсия, которая названа Международной практической шкалой и основана не на двух точках (таяния льда и кипения воды), а на шести точках. Первой точкой шкалы (см. рис. 20) является температура кипения гелия ($-268,93^{\circ}\text{C}$), а последней точ-

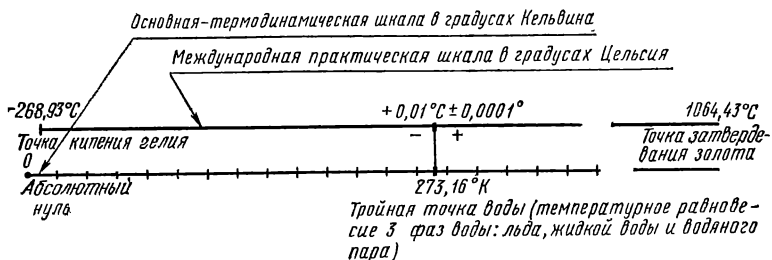


Рис. 20. Схема сравнения температурных шкал Кельвина и Цельсия

кой — температура затвердевания золота ($+1064,43^{\circ}\text{C}$). При новом построении шкалы в градусах Цельсия градусы обеих шкал строго совпадают и переход от одной температурной шкалы к другой очень прост: если известна температура по Цельсию t , то температура по Кельвину T будет составлять $T = t + 273,15^{\circ}$; если известна температура по Кельвину T , то по Цельсию температура будет $t = T - 273,15^{\circ}$.

Единицы силы электрического тока. Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н. Единица измерения ампер воспроизводится на специальной установке по принципу амперово-токовых весов с погрешностью 10^{-5} , которая значительно меньше погрешности ампера при старом определении.

Единица времени. Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния

цезия-133. Секунда связана с частотой колебаний атомов цезия и воспроизводится на атомных часах с относительной погрешностью $5 \cdot 10^{-11}$. По старой эталонной секунде, воспроизводившейся с помощью кварцевых часов, погрешность составляла $1 \cdot 10^{-7}$.

Единица силы света. Кандела (свеча) равна силе света, испускаемого с поверхности площадью $1/600\,000 \text{ м}^2$ полного излучателя в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении $101\,325 \text{ Па}$. Кандела воспроизводится с погрешностью $1 \cdot 10^{-8}$.

Единица массы. По шестой основной единице Си — килограмму сохранен международный прототип килограмма в виде бруска из сплава платины и иридия, который характеризуется относительной погрешностью $2 \cdot 10^{-9}$.

Единицей количества вещества является моль, который определяется как количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012 \text{ кг}$.

§ 2. Метрологические показатели измерительных средств и методы измерений

Измерением называется нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Измерение может быть:

прямое, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных (например, измерение массы на циферблатных весах, температуры термометром, размера штангенциркулем и др.);

косвенное, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например, для определения диаметра D большого вала его охватывают рулеткой и определяют длину окружности. А из геометрии известно, что длина окружности l равна πD . Следовательно, $D = l/\pi$;

абсолютное измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин;

относительное измерение — отношение величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

При выборе измерительных средств пользуются так называемыми метрологическими показателями.

К основным показателям относятся: цена деления шкалы, интервал деления шкалы, допускаемая погрешность измерительного средства, пределы измерения и измерительное усилие.

Ценой деления шкалы называется разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Например, у индикатора часового типа цена деления равна 0,01 мм. Если стрелка прибора переместится от одного деления шкалы до другого, это значит, что измерительный наконечник переместился на 0,01 мм.

Цену деления не следует принимать за точность прибора. Точность прибора определяется погрешностью и может быть больше или меньше цены деления.

Интервал деления шкалы — это расстояние между двумя соседними отметками шкалы. У большинства измерительных средств интервал деления составляет от 1 до 2,5 мм. Чем больше интервал деления на шкале, тем удобнее отсчет по шкале, хотя это обычно ведет к увеличению ее габаритов.

Допускаемой погрешностью измерительного средства называется наибольшая погрешность, при которой измерительное средство может быть допущено к применению. В Советском Союзе для каждого вида измерительных средств, выпускаемых отечественными предприятиями, обязательно устанавливается допускаемая погрешность. Значения погрешностей наиболее распространенных измерительных средств, применяемых в машиностроении, приведены в табл. 12—21.

При рассмотрении погрешности измерений часто выделяется вариация или нестабильность показаний измерительного средства, под которой понимается разность показаний этого средства при многократных измерениях одной и той же величины.

Пределы измерений измерительного средства — это наибольший и наименьший размеры, которые можно измерить данным средством.

Пределы измерений по шкале — наибольшее и наименьшее значения размера, которые можно отсчитать непосредственно по шкале.

Измерительное усилие — усилие, возникающее в процессе измерения при контакте измерительных поверхностей с контролируемым изделием.

Измерительное средство и приемы его использования в совокупности образуют метод измерения.

По способу получения значений измеряемых величин различают следующие методы измерений.

Метод непосредственной оценки характеризуется определением всей измеряемой величины непосредственно по показаниям измерительного средства. Например, при измерении детали штангенциркулем получили значение размера 25,5 мм.

Метод сравнения с мерой — это такой метод, при котором определяют отклонение измеряемой величины от известного размера установочной меры или образца. Например, индикатор закрепляют в стойке на плите и устанавливают на нуль по какому-то образцу, а затем измеряют деталь. В этом случае индикатор будет показывать отклонение размера контролируемой детали относительно размера установочного образца.

При оценке годности деталей на производстве иногда пользуются понятием контроля деталей. Под контролем понимается не определение действительного значения размера, а регистрация факта, что размер детали не выходит из пределов допускаемых наибольшего и наименьшего размеров, т. е. из пределов допуска, например, при контроле деталей в условиях серийного и массового производства калибрами.

§ 3. Понятия о погрешностях измерений, видах и источниках их

Узнать абсолютное значение измеряемой величины нельзя, так как результаты наших измерений не свободны от погрешностей. Поэтому измерения одной и той же постоянной величины при сохранении одних и тех же внешних условий часто дают неодинаковые результаты, отличающиеся на небольшую величину. Погрешностью измерения $\Delta_{изм}$ называется отклонение результата измерения X_i от истинного значения $X_{ист}$:

$$\Delta_{изм} = X - X_{ист}.$$

Погрешности измерений подразделяют на систематические, случайные и грубые (промахи).

Систематические погрешности. Систематической называется такая погрешность, значение которой при повторных измерениях повторяется или закономерно изменяется. Эти погрешности либо увеличивают результат каждого измерения, либо уменьшают его на одну и ту же величину. Например, если измерительную головку установить на нуль по концевой мере, действительный размер которой меньше номинального на 1 мкм, то при всех измерениях будет погрешность 1 мкм со знаком минус.

Влияние систематических погрешностей можно устранить, если ликвидировать причины их появления или внести поправку в результат измерений, равный величине погрешности, но с обратным знаком, как, например, это делается, когда известно, что часы уходят вперед на 3 мин.

Случайные погрешности. Случайной называется погрешность измерения, принимающая при повторных измерениях одной и той же величины и в тех же условиях разные значения по величине и знаку. Случайные погрешности вызываются многочисленными случайными причинами: влиянием неодинаковости измерительного усилия, влиянием зазора между деталями измерительного прибора, погрешностью при отсчете показаний прибора, неточностью установки измеряемого изделия относительно измерительного устройства и др.

Величину и знак возможной случайной погрешности заранее, т. е. до проведения измерения, установить нельзя. Практикой установлено, что распределение случайных погрешностей измерений в большинстве случаев близко к закону нормального распределения. Поэтому допускают, что погрешности, одинаковые по величине, но разные по знаку («+» и «—»), равновероятны. Наибольшее число измерений имеют малые погрешности, близкие к нулю (малые по величине погрешности встречаются чаще, чем большие). Ввиду того что одинаково вероятны как плюсовые, так и минусовые случайные погрешности, при достаточно большом количестве повторных измерений среднее арифметическое значение ряда повторных измерений дает наиболее точное значение измеряемой величины (размера).

§ 4. Способы повышения точности измерений и результата многократных измерений

При многократных измерениях погрешность измерения от случайных ошибок уменьшается в \sqrt{n} раз, где n — число измерений.

На основе закона нормального распределения случайных величин можно многократным измерением одних и тех же величин одним и тем же измерительным средством уменьшить влияние случайных ошибок, так как они осредняются и в итоге повышается точность результата измерения.

Это действие осреднения результатов многократных измерений подтверждается народной поговоркой «семь раз отмерь — один раз отрежь». Пословица обращает внимание на то, что однократное «отмеривание» может быть неточным, а «семикратное» отмеривание предохраняет от промахов.

На машиностроительных и приборостроительных заводах многократность измерений как способ повышения надежности и достоверности результата измерений применяют довольно часто. Так, несколько раз измеряют одни и те же параметры различных производственных образцов, применяемых для настройки измерительных приборов, автоматов и т. п.; ответственные режущие инструменты (например, протяжки) и калибры (особенно профильные); опытные детали; первые изготовленные детали при настройке точных и высокопроизводительных агрегатов; базовые элементы ответственных контрольных и технологических приспособлений (размеры оправок, контрольных штифтов и т. д.); размеры изделий при арбитражной проверке качества, когда в оценке качества продукции по размерам имеются расхождения между заказчиками и изготовителями или между производственниками и контролерами.

Проведя несколько повторных измерений одной и той же величины и получив различные результаты, определяют среднее арифметическое значение ряда измерений \bar{X} и принимают его за значение измеряемой величины $X_{\text{ист}}$, т. е. принимают

$$X_{\text{ист}} = \bar{X}.$$

Но из результатов многократных измерений можно получить более полную информацию об интересующей

нас величине, например о размере опытной детали, если провести еще несложную математическую обработку результатов всех проведенных измерений. Практика показывает, что при современных требованиях к производству точных изделий боязнь небольшой математической обработки результатов измерений является врагом точности. Поэтому ценность результата многократных измерений значительно повышается, если кроме среднего арифметического значения \bar{X} будет определена предельная погрешность среднего арифметического в виде S , которая зависит от значения σ и количества проведения измерений n .

Предельная погрешность среднего арифметического S определяется по формуле

$$S = \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}},$$

где σ — средняя квадратическая погрешность ряда измерений.

Следовательно, при ответственных измерениях проводят ряд повторных измерений (5—10) и на основе полученных результатов всех измерений подсчитывают среднее арифметическое значение и среднюю квадратическую погрешность σ , а потом и предельную погрешность среднего арифметического S . После этого истинное значение измеряемой величины $X_{\text{ист}}$ представляется так:

$$X_{\text{ист}} = \bar{X} \pm S \text{ или } X_{\text{ист}} = \bar{X} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Пример. Для определения размера отверстия опытной детали измерили его нутромером повышенной точности 10 раз ($n=10$). Для упрощения расчетов \bar{X} и σ воспользуемся табл. 12, где в графах 1 и 2 размеры в мм, а в графах 3 и 4 остаточные погрешности в виде $X - \bar{X}$ приведены в микрометрах (мкм).

Так как при подсчете (см. табл. 12) получили $\bar{X} = 60,012$ мм и $\sigma = 0,00115$ мм, истинное значение размера отверстия детали представится так:

$$X_{\text{ист}} = 60,012 \pm \frac{3 \cdot 0,00115}{\sqrt{10}} = 60,012 \pm 0,0011 \text{ мм.}$$

12. Числовые значения для вычисления погрешностей

Результат измерений X , мм	Среднее арифметическое \bar{X} , мм	Остаточная погрешность $X - \bar{X}$, мкм	$(X - \bar{X})^2$, мкм
1	2	3	4
60,012	$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{600,12}{10} = 60,012$	0	0
60,010		-2	4
60,011		-1	1
60,014		2	4
60,012		0	0
60,013		1	1
60,011		-1	1
60,012		0	0
60,013		1	1
60,009		0	0
Сумма: 600,12 мм		$\sum (X - \bar{X})^2 = 12$ мкм	

Примечание. Для расчета средней квадратической случайной погрешности измерения σ применяют формулу

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\text{В нашем случае } \sigma = \sqrt{\frac{12}{10 - 1}} = 1,15 \text{ мкм.}$$

Результат расчета показывает, что истинное значение размера отверстия опытной детали определено с точностью $\pm 1,1$ мкм и с вероятностью 0,9973, т. е. только в 0,27 % случаев может оказаться, что погрешность будет не 1,1 мкм.

В случае многократных повторных измерений одной и той же величины одним и тем же методом измерения и при отсутствии систематических погрешностей за предельную погрешность метода измерения, обозначаемую Δ_{lim} , принимается значение, равное $\pm 3\sigma$. Так, если бы целью десятикратных измерений, приведенных в табл. 12, являлось определение предельной погрешности данного метода измерения одной заданной величины, то эта погрешность для любого отдельного измерения будет равна:

$$\Delta_{lim} = \pm 3\sigma = \pm 3 \cdot 0,0011 = \pm 0,003 \text{ мм.}$$

Если при многократных измерениях появится погрешность больше 3σ , то такую погрешность считают грубой погрешностью, и результат измерения с такой погрешностью отбрасывают. Причинами грубой погрешности могут быть неправильное снятие показаний по шкале прибора или описка при записи результата измерения и другие грубые ошибки.

§ 5. Понятия об эталонах, поверочной схеме и порядке доведения значения эталона до производственных измерений

Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц осуществляется с помощью эталонов и образцовых средств измерений. **Эталон** — средство измерений, обеспечивающее воспроизведение и хранение единицы физической величины с целью передачи размера единицы образцовым, а от них рабочим средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Если эталон воспроизводит единицу с наивысшей в стране точностью, то он называется **первичным**.

Эталоны, значения которых установлены по первичному эталону, называются **вторичными**. Они создаются и утверждаются для организации поверочных работ и для обеспечения сохранности и наименьшего износа государственного эталона.

Вторичные эталоны по своему метрологическому назначению делятся на эталоны-копии, эталоны сравнения, эталоны-свидетели и рабочие эталоны.

Эталон-копия предназначен для хранения единицы и передачи ее размера рабочим эталонам.

Эталон сравнения применяется для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть сличаемы друг с другом.

Эталон-свидетель применяется для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

Рабочий эталон применяется для хранения единицы и передачи ее размера образцовым средствам измерения высшей точности и при необходимости наиболее точным рабочим мерам и измерительным приборам.

Передача размеров единиц от эталонов рабочим ме-

рам и измерительным приборам осуществляется посредством образцовых средств измерений.

Образцовые средства измерений представляют собой меры, измерительные приборы или преобразователи, предназначенные для поверки и градуировки по ним других средств измерений и в установленном порядке

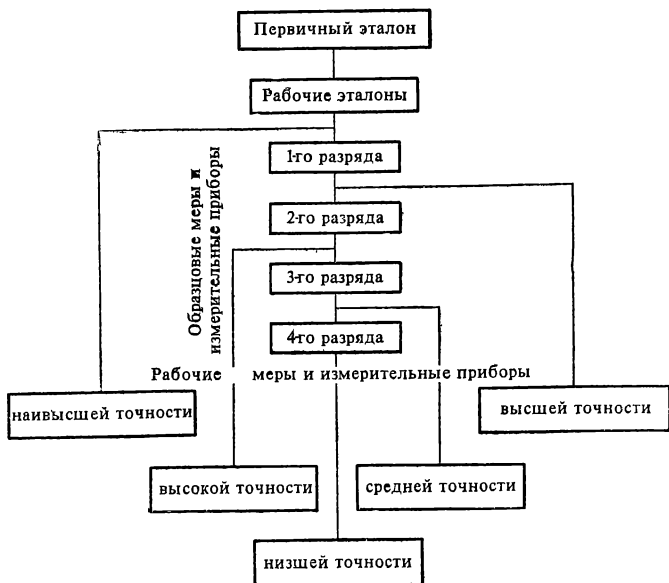


Рис. 21. Схема передачи размеров единиц от первичных эталонов рабочим мерам и измерительным приборам

утвержденные в качестве образцовых. Образцовые средства измерения должны быть метрологически аттестованы, и на них выдаются свидетельства с указанием метрологических параметров и разряда.

На рис. 21 показана схема передачи размеров единиц от первичных эталонов рабочим эталонам, от них — разрядным образцовым средствам измерений и далее — рабочим мерам и измерительным приборам. Все образцовые средства измерений подлежат обязательной периодической поверке в установленные правилами Госстандарта сроки.

Научно-техническую сторону передачи размеров от

эталонов до изделия обеспечивают поверочные схемы, представляющие собой документ, устанавливающий метрологическое соподчинение эталонов, образцовых средств измерений и порядок передачи размера единицы образцовым и рабочим средствам измерений.

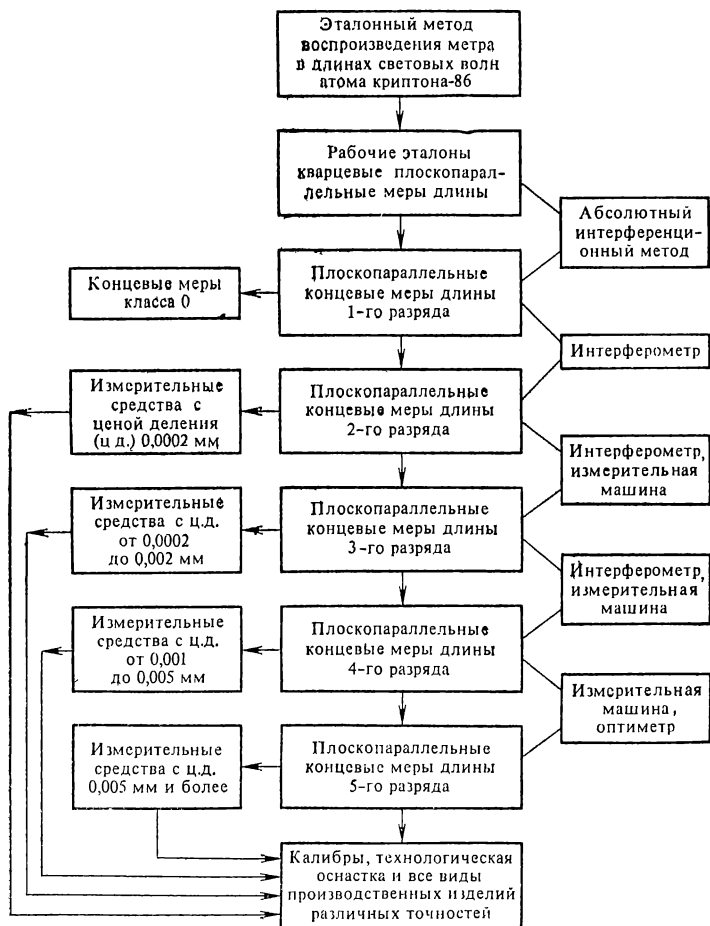


Рис. 22. Упрощенная поверочная схема для линейных измерений

В поверочной схеме указываются наименование утвержденного государственного эталона, вторичных эталонов, образцовых и рабочих средств измерений и

методов поверки, приводятся погрешности воспроизведения передачи размера единицы каждому средству измерений, указанному в схеме. В ней наблюдается постепенное, теоретически и практически обоснованное снижение точности от высших звеньев к низшим, но лишь в такой степени, которая обеспечивает требуемую точность рабочих мер и приборов.

Упрощенная (сокращенная) поверочная схема для линейных измерений показана на рис. 22.

Глава V

СРЕДСТВА ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ, УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ВЫБОР

§ 1. Плоскопараллельные концевые меры длины

Плоскопараллельная концевая мера длины (рис. 23) (концевая мера) — это мера, изготовленная в виде бруска прямоугольного сечения с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями, обладающими свойством притираться к измерительным поверхностям других концевых мер или плоских вспомогательных пластин (СТ СЭВ 720—77).

Рабочим размером концевой меры является длина перпендикуляра, опущенного из любой точки измерительной поверхности концевой меры на ее противоположную измерительную поверхность (рис. 23, а).

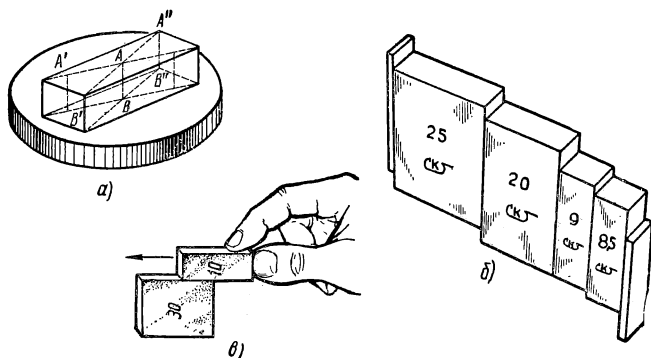


Рис. 23. Плоскопараллельные концевые меры длины:

а — плитки на стеклянной шайбе, б — притертые плитки, в — притирка плиток

Плоскопараллельные концевые меры подразделяются по точности изготовления, т. е. по величине допуска на изготовление, на семь классов (00, 0, 1, 2, 3, 4, 5) *, а по точности аттестации рабочих размеров, т. е. по точности, с которой измерен размер самой плитки, на пять разрядов (1, 2, 3, 4, 5). Плиткам, у которых наиболее точно аттестованы размеры, присваивается 1-й разряд, а плитки 5-го разряда имеют более грубую аттестацию размера. Так, у плитки 1-го разряда с номинальным размером 100 мм значение 100 мм определено (аттестовано) с точностью $\pm 0,1$ мкм, а у плитки 5-го разряда тот же размер 100 мм — с точностью ± 2 мкм.

По плиткам проверяют и настраивают различные измерительные средства, например, при относительных методах измерений. Плитки имеют разные размеры от 0,1 до 1000 мм и комплектуются в наборы, состав которых определяет ГОСТ 9038—73.

Так называемый микронный набор плиток содержит 19 плиток, отличающихся одна от другой размерами. Размер первой плитки составляет 0,091, второй — 0,092, третьей — 0,093 и т. д.; последняя плитка имеет размер 1,009 мм. В других наборах, например из 83 шт. (табл. 13), имеются плитки, отличающиеся друг от друга своими размерами на 0,01; 0,1 мм и на целые миллиметры (рис. 23, б).

При помощи плиток можно составлять наборы различных размеров, для чего несколько плиток притира-

13. Номинальные размеры концевых мер

Номинальные размеры концевых мер, мм	Классы набора
0,5 1,005 1,01; 1,02; 1,03; 1,04; 1,05; 1,06; 1,07; 1,08; 1,09; 1,1; 1,11; 1,12; 1,13; 1,14; 1,15; 1,16; 1,17; 1,18; 1,19; 1,2; 1,21; 1,22; 1,23; 1,24; 1,25; 1,26; 1,27; 1,28; 1,29; 1,3; 1,31; 1,32; 1,33; 1,34; 1,35; 1,36; 1,37; 1,38; 1,39; 1,4; 1,41; 1,42; 1,43; 1,44; 1,45; 1,46; 1,47; 1,48; 1,49; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100	0, 1, 2 и 3

* Концевые меры класса «00» изготавливаются по специальному соглашению сторон.

ются друг к другу и собираются в блоки из двух, трех, но не более четырех плиток. Набор притертых плиток не рассыпается, так как их поверхности очень тщательно отделаны и сцепляются между собой, если надвигать одну плитку на другую (рис. 23, в). Силы сцепления двух плиток достигают большой величины, и разъединить их можно только сдвигая одну плитку по другой.

Пример составления блока для размера 17,105 мм. Первая плитка берется из микронного набора со значением последней цифры заданного размера. В нашем примере первая плитка должна иметь размер 1,005 мм, затем, вычитая из размера 17,105 размер 1,005, получаем остаток в виде размера 16,1 мм. Вторая плитка должна браться из набора (см. табл. 13) также со значением последней цифры размера, т. е. размер второй плитки равен 1,1 мм. Вычитая размер 1,1 из размера 16,1, получим остаток, равный 15 мм. Следовательно, третью и четвертую плитки нужно взять с размером 10 и 5 мм.

Весьма важным назначением концевых мер является передача размера международного эталона длины — метра до изделий, измеряемых на производстве.

На специальной измерительной установке воспроизводится эталон метра в длинах световых волн и проверяются значения размеров так называемых рабочих эталонов длины и концевых мер 1-го разряда, которые также являются эталонными.

Система передачи точного значения эталона метра заключается в периодическом сравнении размеров плиток более высшего разряда с плитками более низших разрядов и периодической поверке всех измерительных средств на производстве от самых точных до самых грубых. Так, с плитками 1-го разряда периодически сравниваются плитки 2-го разряда, затем с плитками 2-го разряда сравниваются плитки 3-го разряда, с плитками 3-го разряда — плитки 4-го разряда и с плитками 4-го разряда — плитки 5-го разряда.

Плитки 1-го разряда, размеры которых аттестованы с наивысшей точностью, имеются в основном только в поверочных лабораториях Комитета стандартов Совета Министров СССР. На заводах в зависимости от точности выпускаемых изделий имеются плитки от 2-го разряда до 5-го или от 3-го разряда до 5-го.

При помощи плиток периодически, в строго установ-

ленные сроки, поверяются все измерительные средства. Более грубые средства, например штангенциркули, поверяются плитками 5-го разряда, а более точные измерительные средства поверяются плитками более точных разрядов. Результаты периодических проверок отмечаются в карточках (паспортах), которые заводятся на каждый измерительный инструмент и прибор.

§ 2. Штангенинструменты

К распространенным средствам для измерения наружных и внутренних размеров относятся различные штангенинструменты: штангенциркули (рис. 24) для измерения наружных и внутренних размеров, штангенглубиномеры (рис. 25) для измерения глубин (отверстий пазов, высоты уступов) и штангенрейсмасы (рис. 26, а, б) для измерения размеров по высоте деталей и для разметки. На рис. 24, 25, 26 показаны также приемы правильной и неправильной установки инструмента. Характеристики штангенинструментов, выпускаемых отечественными заводами, приведены в табл. 14.

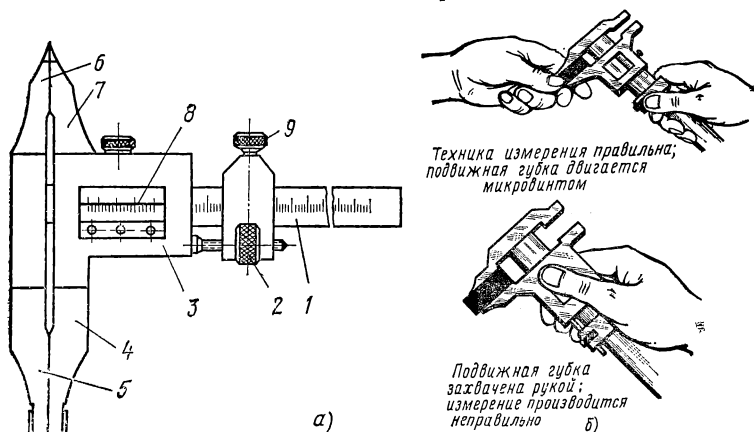


Рис. 24. Один из видов штангенциркулей (а), приемы измерений (б)

В основу устройства штангенинструментов положены линейка с делениями в 1 мм (штанга) и вспомогательная шкала-нониус, перемещающаяся по основной линейке — штанге. Вспомогательная шкала-нониус позво-

ляет отсчитывать доли деления основной шкалы. Нониусное устройство основано на разности интервалов делений основной шкалы и шкалы нониуса.

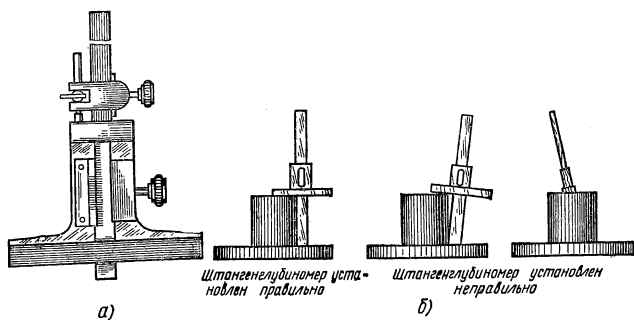


Рис. 25. Штангенглубиномер (а), приемы измерений (б)

Пример. Если интервал деления основной шкалы равен 1 мм, а интервал делений нониуса 0,9 мм, то величина отсчета по нониусу равна $1,0 - 0,9 = 0,1$ мм.

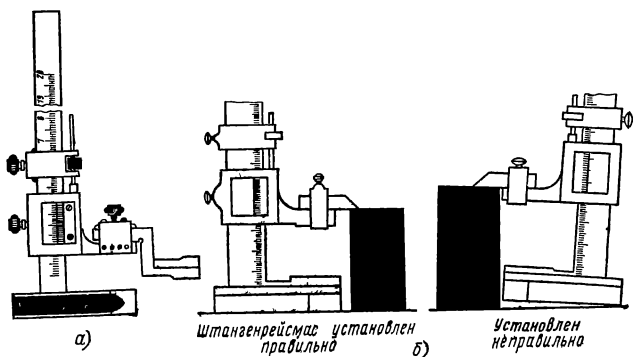


Рис. 26. Штангенрейсмас (а), приемы измерений (б)

Если нулевое деление (штрих) нониуса совместить с нулевым делением (штрихом) основной шкалы (рис. 27), то первое деление нониуса сместится (отстанет) от первого деления основной шкалы (штанги) на величину разности интервалов шкал, т. е. на 0,1 мм; второе деление на 0,2 мм и т. д., а десятое деление нони-

14. Штангенинструмент

Наименование	Тип штанген- инструмента	Основные параметры, мм		
		предел измерений	отсчет	вылет губок
Штангенциркули				
С двусторонним расположением губок	ШЦ-I	0—125	0,1	40
	ШЦ-II	0—160	0,05	45
		0—250	0,05; 0,1	60
С односторонним расположением губок и линейкой измерения глубин	ШЦТ-I	0—125	0,1	40
С односторонним расположением губок	ШЦ-III	0—160	0,5	45
		0—250	0,05; 0,01	60
		0—400	0,1	60
		250—630	0,1	80
		320—1000	0,1	80
		500—1600	0,1	80
		800—2000	0,1	80
Специальные с устройством для разметки	ШЦ-III	1500—3000	0,1	
Центромеры	ШЦЦ	2000—4000	0,1	
Угломеры для измерения линейных и угловых величин	АА8511-4001	6—150	0,025	
		0—150	0,05	
		0—90°	1°	
Для измерения отверстий без вывода бортштанги из них	ШЦО-III	14—320	0,05	
			0,1	
Штангенглубиномеры		0—160	0,05	
Нормальные ШГ, с уступом 3ШГ, с острием 2ШГ	ШГ	0—250	0,05	
		0—400	0,05	
Штангенрейсмасы	ШР	0—250	0,05	
		40—400	0,05	
		60—630	0,1	
		100—1000	0,1	
		600—1600	0,1	
		1500—2500	0,1	

уса, сместившись на 1 мм, совпадет с девятым делением основной шкалы штанги. Дальнейшее продолжение (увеличение) нониуса нецелесообразно, так как это поведет к повторению смещения штрихов нониуса относительно штрихов основной шкалы. Величину отсчета по нониусу можно также получить делением интервала

основной шкалы на число делений нониуса. В рассматриваемом примере это будет $\frac{1 \text{ мм}}{10} = 0,1 \text{ мм}$.

Отсчет по нониусному устройству при измерении состоит в определении дробных долей миллиметра от основной шкалы. Указателем служит нулевой штрих

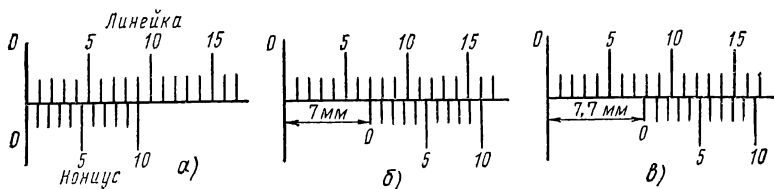


Рис. 27. Отсчет по нониусу

нониуса, а доли деления определяются по совпадению одного из штрихов нониуса со штрихом основной шкалы.

Примеры отсчета по нониусу штангенциркуля с отсчетом 0,1 мм. Если нулевой штрих нониуса совпадает с каким-либо штрихом на линейке, то это деление и указывает размер изделия в целых миллиметрах (рис. 27, б). Если же нулевой штрих нониуса не совпал со штрихом на основной шкале, то ближайшее слева деление на линейке показывает целое число миллиметров, а дробные доли миллиметра отсчитываются по нониусу. Какой по счету штрих нониуса (кроме нулевого) совпадает с одним из штрихов на линейке, столько дробных долей миллиметра и прибавляется к целому числу миллиметров. На рис. 27, б показан отсчет 7 мм, а на рис. 27, в — отсчет 7,7 мм; в этом случае 7-й штрих нониуса совпал с одним из штрихов основной шкалы.

Штангенциркуль. По основной линейке — штанге 1 (см рис. 24) с губками 5 и 6 перемещается рамка 3 с губками 4 и 7. На основной линейке — штанге нанесены миллиметровые деления, а на подвижной рамке находится вспомогательная шкала-нониус 8. Интервал деления нониуса и число делений зависят от величины отсчета. Если интервал делений основной шкалы равен 1 мм, то при величине отсчета по нониусу 0,1 мм он будет иметь десять делений, а при отсчете по нониусу 0,05 мм — 20 делений.

Для точной установки подвижной рамки 3 с губка-

ми 4 и 7 имеется устройство для микрометрической подачи. Оно состоит из вспомогательной рамки с зажимным винтом 9 и винтом с гайкой 2 для точной подачи. При измерении микрометрическую подачу рамки осуществляют плавно без больших усилий.

Выпускаются специальные штангенциркули с устройствами для разметки. Ряд штангенциркулей изготавливается с поворотной губкой на рамке, которая может поворачиваться перпендикулярно штанге на 90° благодаря шарнирным соединениям губки с подвижной рамкой. Такое соединение позволяет измерять размеры, у которых точки касания инструмента с измеряемым изделием находятся в разных плоскостях, т. е. лежат не на одной прямой.

При измерении внутренних размеров обычным штангенциркулем к размеру, определяемому по штангенциркулю, приходится прибавлять толщину обеих губок. Эти недостатки устраняются новой конструкцией штангенциркуля с отсчетом 0,05 мм, в котором имеется две шкалы и два независимых нониуса (один для измерения наружных размеров, а второй используется при измерении внутренних размеров).

Штангенрейсмасы имеют дополнительные сборочные единицы (узлы) с микрометрической подачей для установки шкальных измерительных головок. Специальная державка, входящая в дополнительную присоединительную сборочную единицу (узел), обеспечивает установку измерительных головок как параллельно, так и перпендикулярно плоскости основания.

§ 3. Микрометрические измерительные средства

К микрометрическим измерительным средствам (инструментам) относятся микрометры (рис. 28, а), микрометрические глубиномеры (рис. 28, б), микрометрические нутромеры (рис. 28, в), рычажные микрометры (см. рис. 32).

В принципиальной схеме этих измерительных средств используется микрометрическая пара, состоящая из винта и гайки, изготовленных с высокой точностью. Если при неподвижной гайке повернуть винт на один полный оборот, то он переместится вдоль оси на величину, равную шагу резьбы. Так как в микрометрических измерительных средствах чаще всего используется

резьба с шагом 0,5 или 1 мм, то при одном обороте винта он переместится вдоль оси на 0,5 или 1 мм. Для отсчета этого перемещения на стебле 1 (см. рис. 28) имеется вдоль оси шкала с делениями через 0,5 мм. Для того чтобы отсчитать части оборота микровинта, к нему

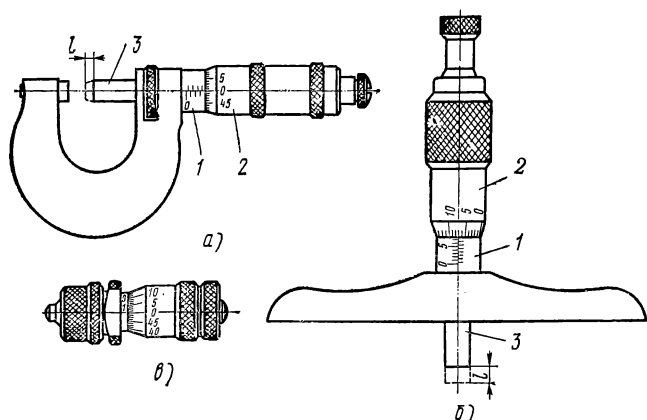


Рис. 28. Микрометрические инструменты:
а — микрометр, б — глубиномер, в — нутромер

прикреплен барабан 2, который около торца имеет 50 равномерных делений, позволяющих определять доли основной шкалы.

При вращении барабана 2 микрометрический винт 3 переместится вдоль оси на величину l , которая будет равна шагу резьбы P , умноженному на число оборотов n :

$$l = Pn.$$

Так как шаг резьбы чаще всего принят 0,5 мм, то при одном обороте винта l будет равно 0,5 мм. Если же повернуть винт на $1/50$ часть оборота (на одно деление круговой шкалы 2), то он переместится на 0,01 мм, так как

$$l = \frac{0,5}{50} = 0,01 \text{ мм.}$$

Эта величина и является величиной отсчета измерительного инструмента. Характеристика микрометрических инструментов отечественного производства приведена в табл. 15.

15. Микрометрические инструменты с ценой деления 0,01 мм

Наименование	Модель	Пределы измерений	Допускаемая погрешность, ± мм
Глубиномеры микрометрические с интервалом через 25 мм	ГМ-100 ГМ-150	0—100 0—150	0,005
Микрометры 0-го и 1-го кл. точности	МК	0—25	0,003 0,004
Микрометры 1-го кл. точности с интервалом через 25 мм		25—100 100—300	0,005 0,006
Микрометры 1-го кл. точности с интервалом через 25 мм		25—100 100—300	0,005 0,006
Микрометры с интервалом через 100 мм		300—600	0,008
Микрометры листовые, микрометры трубные и для мягких материалов	МЛ-5 МЛ-10 МТ-25 МВП	0—5 0—10 0—25 0—25	0,005
Микрометрические нутромеры	НМ75 НМ175 НМ160 НМ1250 НМ2500	50—75 75—175 75—600 150—1250 800—2500	0,006 0,008 0,006—0,015 0,008—0,02 0,02—0,04
Нутромеры с индикаторной головкой	НМИ-4000 НМИ-6000	1250—4000 2500—6000	0,025—0,06 0,05—0,09

Микрометрические нутромеры для измерения отверстий больших размеров имеют относительно большую массу, поэтому процесс измерения ими осуществляется двумя рабочими (рис. 29).

Усовершенствование микрометрических средств идет по пути создания микрометров облегченного типа с

диаметром гладкой части микровинта, равным 6 мм, тогда как у выпускаемых микрометров диаметр равен 8 мм. На рис. 30 показан универсальный микрометр со сменными пятками вместо жесткой. Таким микрометром можно измерить расстояние между поверхностями детали, не совпадающими с линией измерения, а также измерить детали сложной конфигурации.

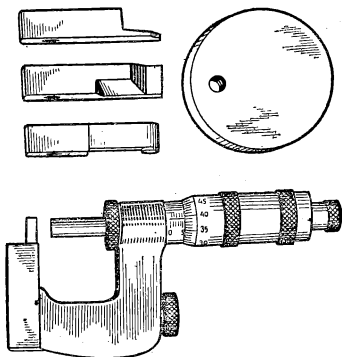
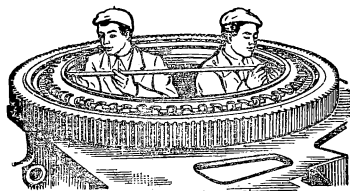


Рис. 29. Измерение путрометром отверстия большого размера

Рис. 30. Универсальный микрометр

Для повышения точности и ускорения измерений больших деталей рекомендуется закреплять микрометры в специальных стойках (рис. 31, а). При измерениях микрометром всегда пользуются трещоткой (рис. 31, б, в), так как только при этих условиях обеспечивается постоянство измерительного усилия, а тем самым и точность измерения.

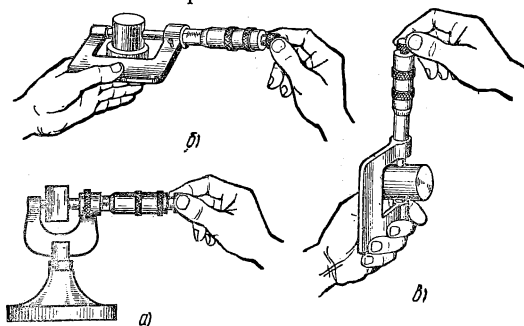


Рис 31. Приемы правильного измерения микрометром:

а — закрепленным в стойке, б — при горизонтальном положении оси, в — при вертикальном положении оси микрометра

Если при измерении размера ось микрометра находится в горизонтальном положении (рис. 31, б), то скобу держат посередине левой рукой, а правой рукой при помощи трещотки доводят измерительную поверхность микровинта до соприкосновения с поверхностью детали. Если же при измерении ось микровинта распо-

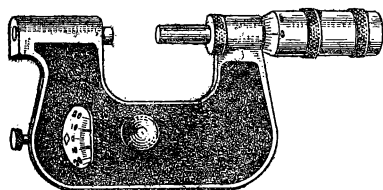


Рис. 32. Рычажный микрометр

лагается вертикально (рис. 31, в), то микрометр поддерживают левой рукой внизу скобы у пятки. При соприкосновении поверхностей микровинта и детали размер детали «отыскивается» покачиванием микрометра.

Рычажные микрометры (рис. 32) предназначены как для абсолютных измерений длин, так и для относительных измерений при установке по концевым мерам. Кроме микрометрической пары (винта и гайки) микрометры с величиной отсчета 0,01 мм имеют еще шкальное устройство.

Выпускается несколько типов микрометров с разными пределами измерения от 0 до 2000 мм. На рис. 32 показан микрометр типа МР с пределом измерения 0—25 мм.

Микрометры с пределами измерения 0—25 мм и 25—50 мм имеют встроенное в корпус отсчетное устройство с ценой деления 0,002 мм и выпускаются двух типов: нормального (МР с погрешностью показаний $\pm 0,003$ мм и повышенного качества МРК с погрешностью показаний $\pm 0,002$ мм). Микрометры с пределами измерения от 50 до 400 мм выпускаются с измерительной головкой типа 2ИГ с ценой деления 0,002 мм и также двух типов: нормальные — типа МРИ и повышенного качества — типа МРИК.

Микрометры с пределами измерения от 400 до 1000 мм выпускаются также двух типов: повышенного качества с измерительной головкой 2ИГ с ценой деления 0,002 мм и с индикаторами часового типа ИЧ10 с ценой деления 0,01 мм. Пределы измерений и допускаемые погрешности измерений приведены в табл. 16. Рычажные микрометры с пределами измерений от 1000 до 2000 мм выпускаются заводом «Калибр» по особым

16. Рычажные микрометры

Пределы измерений, мм	Погрешность показаний, ± мм		Пределы измерений, мм	Погрешность показаний, ± мм	
	нормального исполнения МРИ	повышенного качества МРИК		нормального исполнения МРИ	повышенного качества МРИК
50—75	0,004	0,003	300—400	0,007	0,005
75—100	0,004	0,003	400—500	0,008	0,006
100—125	0,005	0,003	500—600	0,010	0,008
125—150	0,005	0,003	600—700	0,012	0,010
150—200	0,005	0,003	700—800	0,014	0,012
200—250	0,006	0,004	800—900	0,016	0,014
250—300	0,006	0,004	900—1000	0,018	0,016

заказам с интервалом через 200 мм. Измерительные поверхности рычажных микрометров оснащены твердым сплавом.

Так как рычажные микрометры оснащены стрелочным отсчетным устройством, то их микрометрическая пара не имеет трещотки. При непосредственном измерении размеров измерительную пятку микрометра доводят до соприкосновения с деталью (вращая винт) и добиваются положения, при котором один из штрихов барабана совпадает с каким-либо штрихом на стебле. В это время стрелка отсчетного устройства не находится в крайнем положении. Целые значения размера берутся по микропаре, а дробные — по стрелочному отсчетному устройству.

§ 4. Измерительные стрелочные отсчетные головки

К стрелочным отсчетным головкам относят индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые головки и пружинные измерительные головки.

Индикаторы часового типа и измерительные средства, оснащенные ими. Индикатором часового типа является прибор с механизмом, состоящим только из зубчатых пар (рис. 33, а). Принцип действия индикатора показан на рис. 33, б.

Измерительный стержень 1 имеет в средней части зубчатую рейку, которая зацепляется с зубчатым коле-

сом 2. Перемещение измерительного стержня через колесо 2 передается стрелке 3 прибора через зубчатые колеса 4 и 5. На оси с колесом 6 находится волосок 7, который создает натяг в зубчатых зацеплениях, заставляя их работать одной

стороной профиля зуба, устраняя тем самым «мертвый ход». Второй конец волоска закреплен на корпусе прибора. Прибор имеет две шкалы: большую для отсчета долей миллиметра и малую для отсчета целых миллиметров. При перемещении измерительного стержня на 1 мм стрелка на большой шкале делает один оборот. Если шкала имеет 100 делений, то, следовательно, цена деления прибора равна 0,01 мм.

Индикаторы часового типа выпускаются четырех видов: нормального размера с диаметром ободка 58 мм и пределами измерений 0—5 и 0—10 мм; малогабаритные (рис. 33, а) — с диаметром ободка 42 мм и пределами измерений 0—2 мм; для торцовых измерений с диаметром ободка 42 мм и пределами измерений 0—2 мм; с увеличенной шкалой, которые имеют диаметр ободка 90 мм и пределы измерений 0—5 мм при цене делений 0,01 и 0—10 мм при цене деления 0,1 мм. Выпускаются индикаторы и с пределом измерения 25—50 мм. Индикатор для торцовых измерений имеет измерительный стержень со стороны крышки. Индикаторы с увеличенной шкалой имеют большой интервал делений, широкие четкие штрихи и крупные цифры на циферблате, что значительно облегчает отсчет показаний и снижает утомляемость контролера и рабочего при непрерывных из-

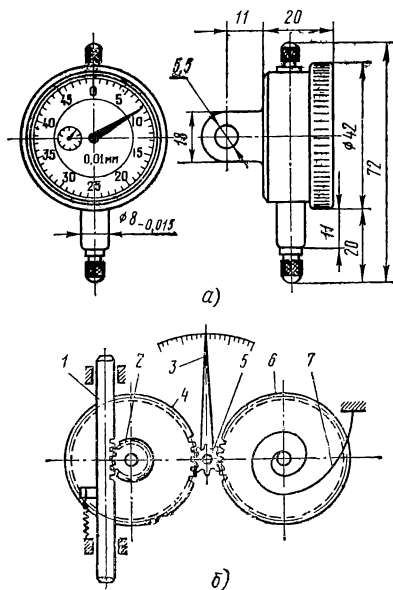


Рис. 33. Малогабаритный индикатор (а), схема зубчатой передачи (б)

Рис. 33. Малогабаритный индикатор (а), схема зубчатой передачи (б)

17. Индикаторы часового типа

Типы индикаторов	Модель	Основные параметры, мм		
		цена деления	пределы измерения	погрешность показаний класса I
С указателем числа оборотов	ИЧ2-2	0,01	0—2	0,012
Нормальные	ИЧ-10	0,01	0—10	
Брызгозащитные	ИЧ-10Б	0,01	0—10	
Пылезащитные	ИЧ-10	0,01	0—10	
С предохранением от ударов	ИЧ-5Р	0,01	0—5	
С торцовым расположением шкалы	ИТ2-2	0,01	0—2	

мерениях, однако при этом увеличиваются габариты и масса индикаторов.

Основные данные об индикаторах часового типа, выпускаемых отечественными заводами, приведены в табл. 17.

Конструкции индикаторов часового типа совершенствуются. Для работы в тяжелых условиях, когда имеют место резкие перемещения с ударом по измерительному стержню вдоль оси, выпускаются индикаторы с диаметром ободка 58 мм и пределами измерений 0—5 мм с разгруженным механизмом. В этих индикаторах имеется устройство на рейке, которое предохраняет механизм от поломки при случайных ударах по измерительному стержню вдоль его оси. Это значительно повышает стойкость и долговечность индикаторов при работе с ударами. Для повышения стабильности показаний введены каменные подшипниковые опоры под оси зубчатых колес, а для защиты механизма от пыли и влаги у индикаторов с увеличенной шкалой улучшена герметизация механизма, что позволяет использовать индикаторы для измерений на станках.

Для более универсального использования индикаторов часового типа к ним выпускаются дополнительные устройства. Кроме того, для выполнения разнообразных контрольно-поверочных работ выпускаются наборы принадлежностей, в которые входят специальные угловые и прямые рычаги, зажимные устройства, муфты с поворотной державкой и др., позволяющие прове-

рять точность работы станков (рис. 34), определять величину отклонений формы наружных и внутренних поверхностей и проводить измерения в различных местах деталей, проверка которых обычными методами затруднена.

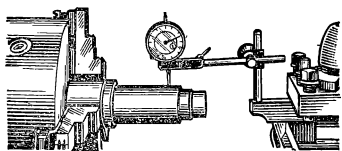


Рис. 34. Устройство для проверки биения шпинделя станка

Индикаторные глубиномеры с ценой деления 0,01 мм предназначены для измерения глубины пазов, отверстий, высот, выступов и т. п. (рис. 35, а). Они имеют пределы измерения от 0 до 100 мм (мод. ГИ-100);

0—2 мм (мод. ГИ-2) и от 0 до 150 мм (мод. ГИ-150).

Индикаторные толщиномеры и стенкомеры. Толщиномеры (рис. 35, б) выпускаются двух типов. Настольные (ТН) с ценой деления 0,01 мм и

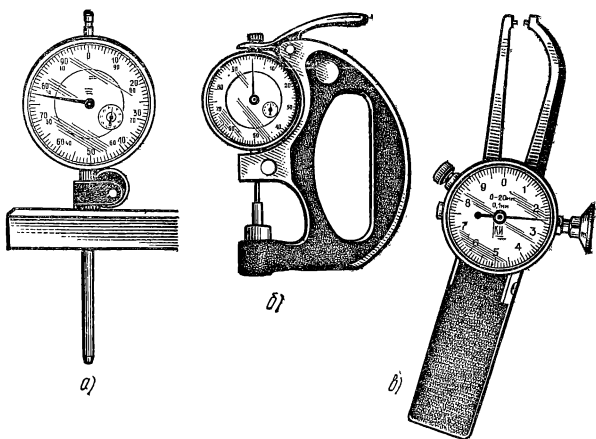


Рис. 35. Индикаторные приборы:
а — глубиномер, б — толщиномер, в — стенкомер

пределами измерения 0—10 мм и ручные (ТР) с ценой деления 0,1 мм и пределами измерения 0—10, 0—25 и 0—50 мм. По заказам толщиномеры оснащаются нако-
нечниками с твердым сплавом разных размеров и форм

для контроля толщины различных материалов (мягких, твердых).

У толщиномеров с ценой деления 0,01 мм предельная погрешность измерения $\pm 0,02$ мм.

Стенкомеры выпускаются для измерения толщины стенок труб, колб и других деталей из разных материалов. Стенкомеры (рис. 35, в) моделей С-2 и С-10А имеют цену деления 0,01 мм, а у моделей С-10Б, С-25, С-50,

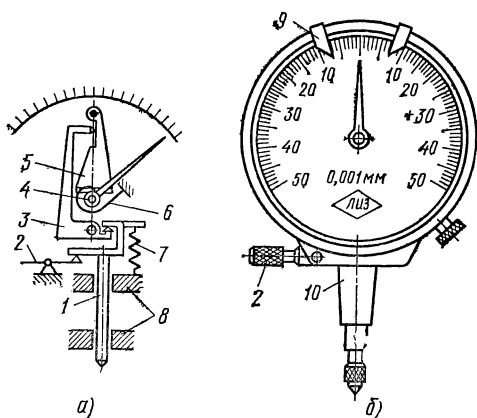


Рис. 36. Рычажно-зубчатая измерительная головка ТИГ:

а — схема устройства, б — общий вид

СМТ-30, СМТ-60 и СМТ-90 цена деления 0,1 мм. Цифры у буквенных обозначений моделей показывают наибольший предел измерения. Наименьший диаметр измеряемого отверстия — 3 мм, а наибольший — 65 мм при небольших глубинах измерения — соответственно 25 и 305 мм.

Рычажно-зубчатые измерительные головки изготавливаются двух моделей: ИГ с ценой деления 0,001 мм и ИГ с ценой деления 0,002 мм. Эти головки применяются при точных измерениях вместо индикаторов часового типа.

Схема устройства и общий вид одного из типов головок показаны на рис. 36, а, б.

В головке 1 применен механизм с двумя рычажными и одной зубчатой передачами. При перемещении изме-

рительного стержня 1 в двух направляющих втулках 8, закрытых корпусом 10, происходит поворот рычага 3, который воздействует на рычаг 5, имеющий на большом плече зубчатый сектор, входящий в зацепление с зубчатым колесом 4. На оси колеса расположена стрелка и втулка, связанная с волоском 6, выбирающим «мертвый ход». Пружина 7 создает измерительную силу. Головка снабжена указателями 9 поля допуска и встроенным арретирующим устройством 2. Арретирующим

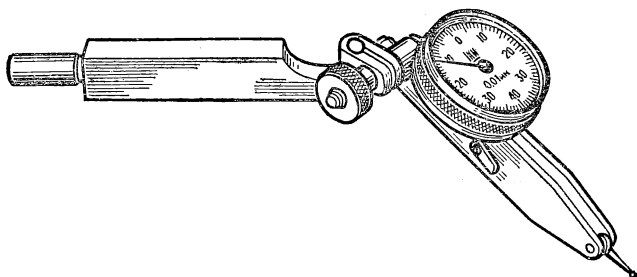


Рис. 37. Малогабаритный рычажно-зубчатый индикатор

устройством называется отводное устройство, с помощью которого поднимается измерительный стержень перед тем, как подвести под него измеряемое изделие. Когда пользуются арретиром, то положение самой измерительной головки остается неизменным. Основой механизма головки являются две неравноплечих рычажных пары и одна зубчатая пара.

Сочетание рычажной и зубчатой передачи используется не только с целью уменьшения цены деления прибора до 0,001 мм, но также и для образования малогабаритных рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм. На рис. 37 показан индикатор типа ИРБ с верхним расположением шкалы и специальной державкой для крепления. Индикаторы этого типа удобны для определения отклонений от правильной геометрической формы изделий в труднодоступных местах деталей.

Рычажно-зубчатые многооборотные индикаторы выпускаются двух моделей: 1МИГ и 2МИГ. Они отличаются от измерительных головок моделей 1ИГ и 2ИГ большим пределом измерений. Раз-

груженная конструкция механизма позволяет перемещать измерительный стержень на величину не менее 2,5 мм, устраняя опасность повреждения механизма при случайных ударах по наконечнику. Основные данные о рычажно-зубчатых головках и индикаторах приведены в табл. 18.

18. Рычажно-зубчатые измерительные индикаторы и головки

Наименование индикаторов и модель	Основные показатели, мм		
	цена деления	пределы измерений	погрешность показаний
Многооборотные 1МИГ	0,001	0—1	0,002
2МИГ	0,002	0—2	0,003
С боковым расположением шкалы ИРБ-2М	0,02	$\pm 0,08$	0,002
С увеличенным диаметром шкалы ИРБ-1	0,001	$\pm 0,4$	0,001
С торцовым расположением шкалы ИРТ	0,01	$\pm 0,4$	0,005
Головки измерительные (ГОСТ 18833—73):			
1ИГ	0,001	$\pm 0,05$	0,001
2ИГ	0,002	$\pm 0,01$	0,002

Пружинные измерительные головки. Головки типа микрокатора основаны на пружинной передаче (рис. 38, а, б). Они более перспективны, чем измерительные рычажно-зубчатые головки. Чувствительным элементом этих головок является бронзовая лента 1 в виде спиральной пружины, которая закручивается от середины по типу детской игрушки — жужжалки. Один конец пружины связан с измерительным стержнем 3 посредством угольника 2 из плоских пружин. Другой конец припаян к опоре 4, которая прикреплена к кронштейну корпуса головки. Лента изготавливается из специальной бронзы толщиной 5—10 мкм и шириной 70—150 мкм и обладает хорошими упругими свойствами. Если измерительный стержень 3 перемещается вверх или вниз, то треугольник 2 смещается, растягивает спиральную ленту 1, и спираль, раскручиваясь, вызывает поворот стрелки 5, которая прикреплена к середине ленты 1.

Стрелку 5 делают из стеклянного трубчатого волоска с наружным диаметром 0,06—0,07 мм и внутренним

диаметром 0,01—0,02 мм. К верхнему концу стрелки прикреплен миниатюрный указатель из фольги, а к нижнему концу — противовес в виде капли шеллака. Чтобы уменьшить время успокоения стрелки, витая пружинная лента 1 с каплей шеллака проходит через демпфер 6, который представляет собой алюминиевую труб-

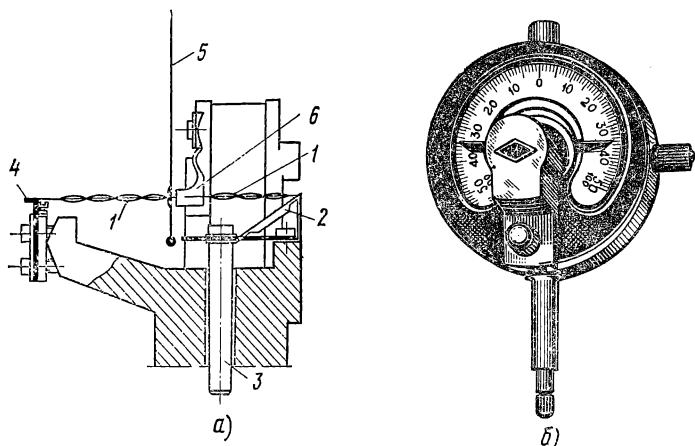


Рис. 38. Пружинные измерительные головки:
а — схема устройства, б — малогабаритная головка

ку, заполненную специальной жидкостью. При вибрации капля вязнет в масле и резонанс гаснет.

Пружинные головки выпускаются двух типов, обозначаемых ИГП и ИПМ. Головки типа ИГП выпускаются с ценой деления от 0,0001 до 0,01 мм, имеют соединительный цилиндр диаметром 28 мм (рис. 39, а) и предназначены для использования в стойках тяжелого типа. Малогабаритные головки ИПМ (рис. 39, б) выпускаются с разной ценой деления и с соединительным размером цилиндра 8 мм. Малый габарит измерительных головок позволяет применять их вместо индикаторов часового типа в различных приспособлениях и устройствах.

Все пружинные измерительные головки снабжены переставными указателями поля допуска, точная настройка на размер обеспечивается поворотом шкалы. Особой разновидностью пружинных головок является

рычажно-пружинный миникатор модели 10301 (ГОСТ 14711—69) (рис. 39, б), имеющий малое измерительное усилие и предназначенный для определения отклонений от правильной геометрической формы изделий в труднодоступных местах. Он снабжен державкой, которая имеет микропередачу для настройки на нуль. Индикатор с нормальной длиной наконечника 32 мм имеет цену деления 0,001 мм, а при удлиненном наконечнике — 71 мм цена деления равна 0,002 мм. Удлиненный наконечник позволяет измерять детали, не снимая их со станка, а также вводить его в глубокие отверстия, уступы и т. д.

Основные данные об измерительных пружинных средствах приведены в табл. 19.

Пружинные головки сравнительно просты по конструкции и износостойчивы. У головок с ценой деления от 0,0001 до 0,0005 мм съемный арретир снабжен специальным тросиком типа затвора фотоаппарата (рис. 39, а).

При эксплуатации головок рекомендуется избегать резкого стряхивания, ударов по измерительному стержню, протирки «окна» сухой тканью или ватой (можно наэлектризовать стекло и притянуть к нему легкую стрелку). Кроме пружинных измерительных головок в нормальном исполнении выпускаются также микрокаторы модели от 01ИГП до 5ИГМ и оптикаторы всех моделей повышенного качества с уменьшенной погрешностью показаний. Ряд измерительных головок (не указанных в табл. 18) выпускается по заказам. К ним относятся микрокаторы как с малым измерительным усилием (50 сН), так и регулируемым усилием (от 40 до

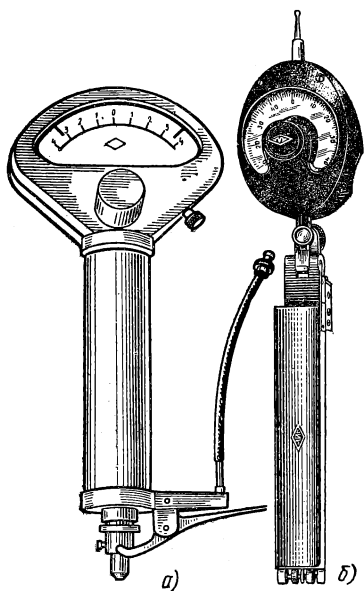


Рис. 39. Пружинная измерительная головка типа ИГП (а), рычажно-пружинный индикатор (б)

19. Пружинные измерительные головки

Наименование головок	Модель	Основные показатели, мм		
		цена деления	пределы измерения	погрешности показаний
Микрокаторы с присоединительным диаметром 28 мм	01-ИГП	0,0001	$\pm 0,003$	0,0002
	02-ИГП	0,0002	$\pm 0,006$	0,0003
	05-ИГП	0,0005	$\pm 0,015$	0,0005
	1-ИГП	0,001	$\pm 0,03$	0,0008
	2-ИГП	0,002	$\pm 0,06$	0,0015
	5-ИГП	0,005	$\pm 0,15$	0,004
	10-ИГП	0,01	$\pm 0,3$	0,005
Микаторы малогабаритные с присоединительным диаметром 8 мм	02-ИПМ	0,0002	$\pm 0,01$	
	05-ИПМ	0,0005	$\pm 0,025$	
	1-ИПМ	0,001	$\pm 0,05$	
	2-ИПМ	0,002	$\pm 0,1$	
Миникаторы с присоединительным диаметром 4 и 8 мм	10301	0,001	$\pm 0,04$	
		0,002	$\pm 0,08$	
Оптикаторы	01П	0,0001	$\pm 0,012$	0,00006
	02П	0,0002	$\pm 0,025$	0,00010
	05П	0,0005	$\pm 0,05$	0,00025

150 сН) и ряд малогабаритных головок микаторов, обозначаемых ИПМУ,

§ 5. Рычажные и индикаторные скобы, индикаторные нутромеры

Рычажные скобы. Стрелочное отсчетное устройство у рычажных скоб основано также на принципе рычажно-зубчатого механизма, что позволяет выпускать инструменты с ценой деления 0,002 и 0,005 мм. Скобы с ценой деления 0,002 мм выпускаются с пределами измерений от 0 до 100 мм через 25 мм, а скобы с ценой деления 0,005 мм имеют пределы измерений от 100 до 150 мм. Предельная погрешность показаний в пределах всей шкалы равна цене деления, а в пределах ± 10 делений равна половине цены деления.

Основными частями скобы типа СР (рис. 40) являются собственно скоба 2, рычажно-зубчатый механизм 1, встроенный в скобу, регулируемая измерительная пятка 3, закрепляемая стопором, и подвижная измерительная пятка 4, перемещения которой передаются через рычажно-зубчатую передачу на стрелку.

Индикаторные скобы. Индикаторные скобы СИ выпускаются для измерения наружных размеров с разными пределами измерения от 0 до 1000 мм (0—50, 50—100 и далее через 100 мм).

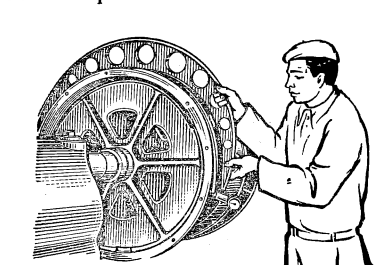


Рис. 41. Измерение индикаторной скобой вала большого диаметра

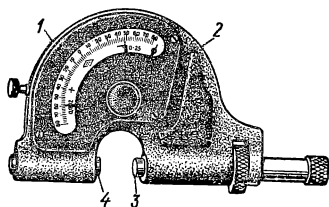


Рис. 40 Рычажная скоба СР

Скобы снабжаются индикатором часового типа с ценой деления 0,01 и пределами измерения 0—5 или 0—10 мм. Предельная погрешность скоб зависит от измеряемых размеров; при размерах от 0 до 100 мм погрешность $\pm 0,01$ мм, от 100—200 мм — погрешность $\pm 0,012$ мм, от 200 до 400 мм погрешность $\pm 0,015$ мм, от 400 до 600 мм погрешность $\pm 0,020$ мм и при размерах свыше 600 мм погрешность $\pm 0,025$ мм. Выпу-

20. Индикаторные нутромеры НИ

Пределы измерений	Наибольшая глубина измерения, мм	Величина перемещения измерительного стержня, \pm мм	Погрешность показаний, мм
6—10	50	0,6	0,015
10—18	130	0,8	0,015
18—50	150	1,5	0,015
50—100	200	4	0,02
100—160	300	4	0,02
160—250	400	4	0,02
250—450	500	6	0,025
450—700		8	0,025
700—1000		8	0,025

скаются скобы повышенного качества СИК с меньшей погрешностью показаний ($\pm 0,008$ мм при измерении размеров до 100 мм и $\pm 0,02$ мм при размерах от 600 до 1000 мм).

Индикаторные скобы для измерения больших размеров имеют относительно большую массу и для измерения ими требуется участие двух человек. На рис. 41 показано измерение на станке вала

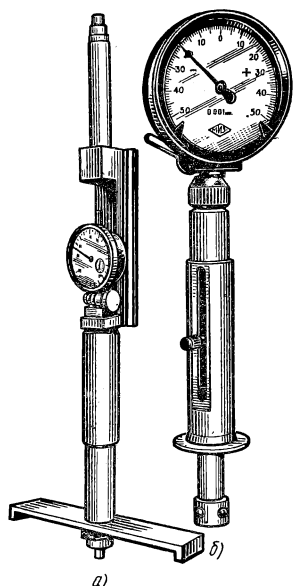


Рис. 42. Нутромеры индикаторные:

a — для измерения отверстий 450—700 мм, *б* — повышенной точности

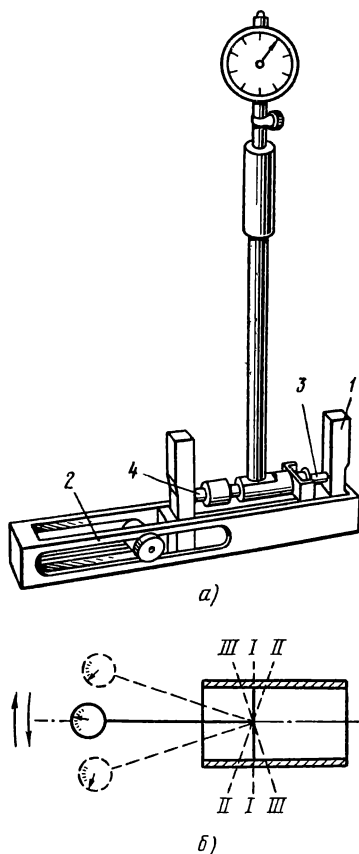


Рис. 43. Установка нутромера на нуль (*a*), схема измерения (*б*)

диаметром 800 мм (второй рабочий на рисунке не виден).

Нутромеры индикаторные. Для измерения размеров отверстий от 3 до 1000 мм выпускаются индикаторные нутромеры (рис. 42, *a*) и нутромеры повы-

шенной точности (рис. 42, б). Широкое распространение нашли индикаторные нутромеры с ценой деления 0,01 мм, которые изготавливаются 12 моделей с пределами измерения от 6 до 1000 мм. Основные данные о нутромерах приведены в табл. 20.

На рис. 42 показан нутромер с пределом измерения от 450 до 700 мм. Измерительные поверхности нутромеров оснащены твердым сплавом, а теплоизоляционная ручка нутромера предохраняет прибор от нагревания руками при измерении. В комплект нутромеров входит набор сменных вставок, при помощи которых получают нужные пределы измерения.

Индикатор на нуль устанавливают по аттестованному кольцу или по блоку концевых мер.

Блок концевых мер нужного размера притирают к двум боковикам 1 (рис. 43, а) и закрепляют в державке 2. Затем нутромер помещают между боковиками так, чтобы измерительный стержень 3 и вставка 4 касались плоскостей боковиков 1. Покачивая прибор в плоскости осевого сечения (рис. 43, б), находят предельную точку движения стрелки индикатора и, вращая циферблат (за ободок), совмещают нулевой штрих шкалы со стрелкой. После этого еще раз проверяют правильность установки нутромера на нуль при заданном размере блока плиток.

При измерении нутромер, предварительно наклонив, осторожно, без ударов наконечниками о стенки детали, вводят в отверстие. Установка нутромера перпендикулярно оси отверстия (положение 1) осуществляется легким покачиванием его, после чего отмечается отклонение стрелки от нуля. Если стрелка отклонилась влево, то отклонение берут со знаком плюс (оно прибавляется к размеру блока плиток), если вправо, то отклонение берут со знаком минус (оно вычитается из размера блока плиток). Вывод нутромера из отверстия осуществляется так же, как и ввод.

Для повышения точности измерений в нутромер вместо индикатора часового типа рекомендуется ставить измерительную головку с ценой деления 0,002 мм или 0,001 мм и установку на размер производить по аттестованному кольцу.

На производстве иногда требуется измерять размеры отверстий в местах, недоступных для типовых нутромеров. В таких случаях применяют специальный инди-

каторный нутромер, измерение которым отверстия сложной детали показано на рис. 44.

Нутромеры повышенной точности. Для более точного измерения отверстий небольших размеров (1,5—200 мм) выпускаются нутромеры повышенной точности (табл. 21).

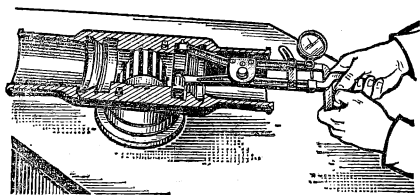


Рис. 44. Индикаторный нутромер специального назначения

Нутромеры моделей 103, 104 и 105 выполнены с шариковыми измерительными наконечниками (см. рис. 42, б), расположенными в круглом корпусе под углом 90° по отношению друг к другу, и сменными измерительными наконечниками на разные пределы измерения. Нутромер модели 109 оснащен сменными измерительными вставками, что позволяет получить пределы измерений 18—50 мм.

Установка измерительной головки нутромера на нуль и процесс измерения отверстий осуществляются так же, как и у индикаторных нутромеров.

21. Нутромеры повышенной точности

Модель	Измерительная головка	Основные данные, мм			
		цена деления	пределы измерения	глубина измерения	допускаемая погрешность
153	2ИГ	0,001	1,5—2	8	0,003
116	1ИГ	0,001	2—3	12	0,003
103	1ИГ	0,002	3—6	20	0,003
104	1ИГ	0,001	6—10	30	0,003
105	2ИГ	0,002	10—18	50	0,005
109	2ИГ	0,001	18—50	150	0,005
154	2ИГ	0,002	50—100	200	0,006
155	2ИГ	0,002	100—160	300	0,006
156	2ИГ	0,002	160—260	300	0,006

§ 6. Рычажно-оптические приборы

К рычажно-оптическим приборам относятся оптиметры и измерительные пружинно-оптические головки.

Оптиметры. Оптиметры разделяются на верти-

кальные (ОВО — с окуляром и ОВЭ с проекционным экраном) и горизонтальные (ОГО и ОГЭ). Последние применяются для измерения как наружных, так и внутренних размеров. Наиболее распространены вертикальные оптиметры (рис. 45, а) с ценой деления 0,001 мм и

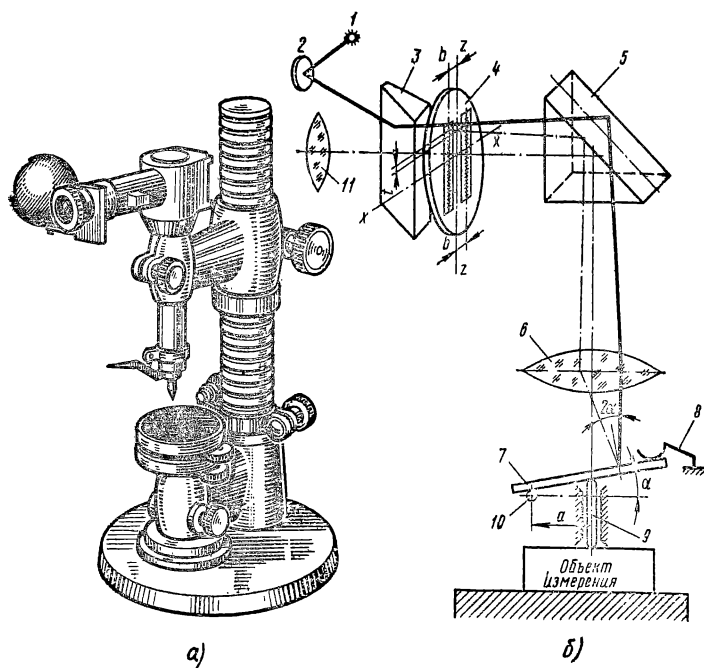


Рис. 45. Вертикальный оптиметр (а), принцип действия трубки оптиметра (б)

погрешностью показаний $\pm 0,0002$ мм, применяемые для измерения наружных размеров (концевых мер, калибров-пробок и особо точных изделий).

Основной отсчетной частью прибора является трубка оптиметра, построенная по рычажно-оптической схеме. Принцип действия трубки оптиметра показан на рис. 45, б. Лучи света 1 направляются зеркалом 2 в щель трубки и, преломляясь трехгранной призмой 3, проходят через шкалу, нанесенную на пластинке 4. Затем пучок лучей проходит через призму полного отра-

жения 5 и, отразившись от нее под прямым углом, попадает в объектив 6, а потом на зеркальце 7. Зеркальце 7 пружиной 8 прижимается к измерительному стержню 9, а при перемещении измерительного стержня зеркальце поворачивается вокруг оси, проходящей через

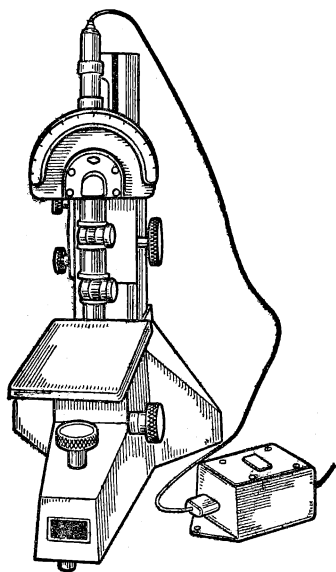


Рис. 46. Пружинно-оптическая измерительная головка в стойке

центр шарика 10. Угол поворота зеркальца α зависит от наклона зеркальца 7. На рис. 45, б показан ход одного падающего луча (сплошной линией) и отраженного (штрих-пунктирной линией). Угол между этими лучами равен 2α .

Отраженный пучок лучей объективом превращается в сходящийся пучок лучей, который дает изображение шкалы. Установка трубки прибора по блоку концевых мер заключается в совмещении нулевого штриха шкалы с неподвижным указателем. При перемещении из измерительного стержня на 1 мкм изображение шкалы смещается в поле зрения на 1 деление по отношению к неподвижному указателю. Изоб-

ражение шкалы наблюдается в окуляр 11 с увеличением в 12 раз, поэтому интервал шкалы 0,08 мм увеличивается до 0,96 мм.

Измерительные пружинно-оптические головки. Эти приборы имеют сокращенное название — оптикаторы (рис. 46). В них используется пружинный принцип действия микроатора, только к завитой спиральной пружине прикреплена не стрелка, а зеркальце, на которое падает луч света и отражается на стеклянную шкалу, где появляется изображение указательного штриха. Выпускаемые пружинно-оптические головки, обозначаемые ОП, имеют присоединительный диаметр 28 мм и предназначены для точных линейных измерений при закреплении в стойках тяжелого типа. Измерительные головки имеют поворот шкалы для точ-

ной настройки на размер и указатели поля допуска в виде цветных шторок на пути светового луча (зайчика), окрашивающих его в зеленый или красный цвет. Пружинно-оптические головки выпускаются долемикронные (модели 01П, 02П и 05П) и микронные (П1, П2 и П5) с увеличенным интервалом между делениями шкалы для облегчения отсчета. Основные данные о пружинно-оптических головках приведены в табл. 19,

§ 7. Пневматические длиномеры низкого и высокого давления

Работа пневматических измерительных приборов — длиномеров основана на свойстве истечения воздуха с постоянным давлением из небольшого отверстия, называемого соплом. Шкалы пневматических приборов градуируют не в единицах давления, а в линейных единицах (например, в мкм). Такая градуировка позволяет непосредственно отсчитывать отклонения размеров проверяемых деталей от размера образцовой детали или меры, по которым настроен прибор, и определять отклонения от правильной геометрической формы изделий.

На заводах применяют два вида приборов: приборы низкого давления, основанные на изменении давления воздуха (рис. 47, а), и поплавковые (ротаметры), основанные на изменении расхода воздуха (рис. 47, б).

Приборы низкого давления выпускаются с двумя и большим количеством шкал для одновременного или раздельного измерения двух и более размеров. На рис. 47, а показан прибор с двумя отсечными шкалами и измерительной пробкой с образцовым кольцом для установки прибора на нуль. Пределы измерения можно менять от 0,02 до 0,20 мм, так как они зависят от размеров сопл, которые применяются в приборе. При пределе измерения 0,02 мм предельная погрешность показаний равна 0,0005 мм, а при наибольшем пределе измерения 0,20 мм погрешность соответственно равна 0,005 мм.

Наиболее распространены поплавковые пневматические длиномеры (рис. 47, б). Принцип действия этих приборов основан на изменении расхода воздушного потока в конической стеклянной трубке. Воздух от источника питания с давлением 300—600 кПа (3—6 кгс/см²) проходит через отстойник, фильтр и ре-

дукционный стабилизатор 1, выравнивающий давление воздуха, затем поступает в коническую стеклянную трубку 2. Рабочее давление воздуха может колебаться от 70 до 200 кПа (от 0,7 до 2 кгс/см²). При настройке прибора добиваются, чтобы металлический легкий поплавок 3

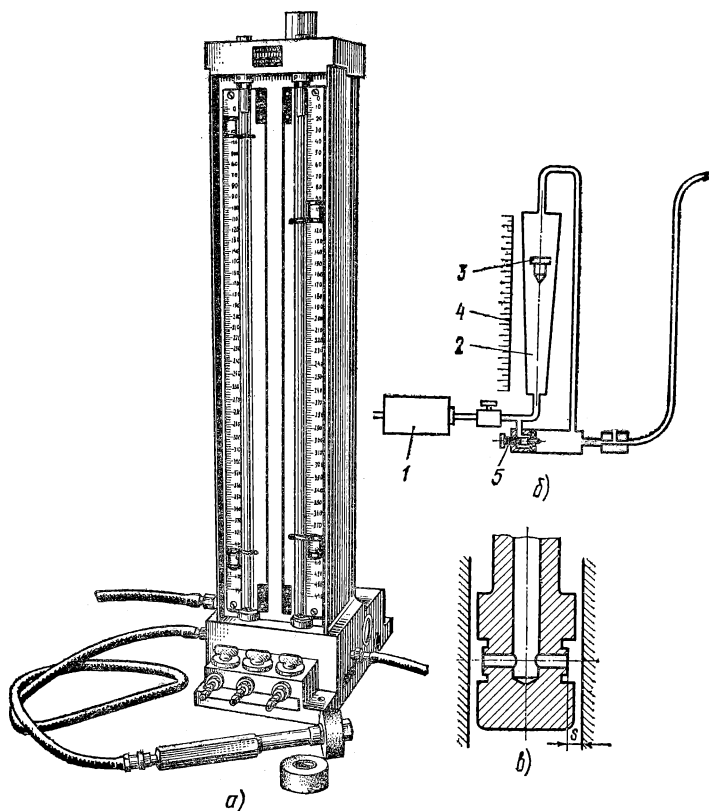


Рис. 47. Пневматические длиномеры:

а — с жидкостным регулятором давления, *б* — поплавковый прибор, *в* — пробка в отверстии (разрез)

(масса менее 1 г) находился во взвешенном состоянии на отметке 0 шкалы 4. При измерении деталей в зависимости от изменения зазора (рис. 47, *в*) между выходным соплом и поверхностью измеряемого изделия (см. рис. 47, *б*) меняется расход воздуха, а следовательно, и

положение поплавка устанавливается относительно отметок шкалы 4. При большом зазоре расход воздуха больше, и поплавок 3 поднимается, при меньшем зазоре расход меньше, и поплавок опускается. Цена деления зависит от градуировки и настройки прибора и может быть равна 1—2 мкм и даже долям микрометра.

Перед измерением диаметров отверстий с помощью пневматического прибора пробку специальной конструкции вводят в образцовое кольцо и, регулируя подачу воздуха с помощью винта 5, устанавливают поплавок 3 в трубке 2 в нулевое положение. Если размер отверстия проверяемой детали будет отличаться от размера образцового кольца или блока из плиток, поплавок покажет отклонение от размера.

Повертывая пробку в проверяемом отверстии на 90, 180 и 270° в одном и разных сечениях по оси детали,

22. Приборы пневматические

Наименование	Допускаемые погрешности, мкм	Количество контролируемых размеров одновременно	Цена деления, мм	Пределы измерения, мм
Длиномеры пневматические высокого давления (ротаметры): нормального исполнения в регулируемом передаточным отношением	0,5; 0,8 0,8; 1,2 1,5; 2 2,5; 4	1, 2, 3 5, 8, 10	0,0005 0,001 0,002 0,005	0,02 0,035 0,06 0,10
Длиномеры пневматические низкого давления	0,5; 0,8 0,8; 1,2 1,5; 2 2,5; 4	2	0,0005 0,001 0,002 0,005	0,02 0,04 0,08 0,20
Пневматические приборы с расположением шкал: вертикальным горизонтальным		1 1	0,0001 0,0002 0,0005	0,01 0,02 0,05

Примечание. Первые цифры в графе «допускаемые погрешности» относятся к приборам с измерительным соплом, вторые — к приборам с пневматической пробкой.

можно определить отклонения деталей от правильной геометрической формы.

Пневматические приборы особенно незаменимы при определении диаметров и отклонений формы у отверстий, особенно глубоких и несквозных, а также отверстий небольшого диаметра.

Пределы измерений и точность зависят от величины допуска на проверяемый размер детали и от правильного выбора измерительных калибров. Основные данные о пневматических приборах приведены в табл. 22.

§ 8. Калибры

При массовом выпуске изделий, когда на заводе ежедневно вынуждены измерять детали по одному и тому же размеру, широко применяются инструменты жесткой конструкции — предельные калибры (рис. 48): пробки для контроля отверстий (рис. 48, а, б) и скобы для контроля валов (рис. 48, в, г). Калибры не имеют отсчетных устройств для определения размеров, с их помощью можно только установить, выполнен ли действительный размер детали в пределах допуска или нет. Для этого калибры изготавливают по предельным размерам проверяемой детали. Так, для отверстия $\varnothing 30^{+0,021}$ одна сторона пробки (удлиненная на рис. 48, а) будет иметь номинальный размер 30 мм и называться проходной ПР, а другая сторона пробки (укороченная) будет иметь номинальный размер наибольшего отверстия, т. е. 30,021 мм. Эта сторона пробки называется непроходной и обозначается НЕ, она может входить только в деталь, имеющую завышенный размер отверстия. Такие детали бракуются.

Процесс контроля деталей заключается в простой сортировке их с помощью двух предельных калибров на три группы: годные детали, размер которых находится в пределах допускаемого (ПР проходит, а НЕ не проходит); брак исправимый, когда размер вала больше допустимого, а размер отверстия меньше допустимого (ПР не проходит); брак неисправимый, когда размер у вала занижен, а у отверстия завышен (НЕ проходит).

Калибры, которыми пользуются рабочие и контролеры ОТК для проверки деталей, называются рабочими

калибрами; их типы, размеры и технические условия стандартизованы.

Калибры для отверстий до 50 мм изготавливают в виде полных пробок (рис. 48, а), для отверстий свыше 50 до 100 мм могут применяться как полные пробки, так и неполные (рис. 48, б), а свыше 100 мм — только

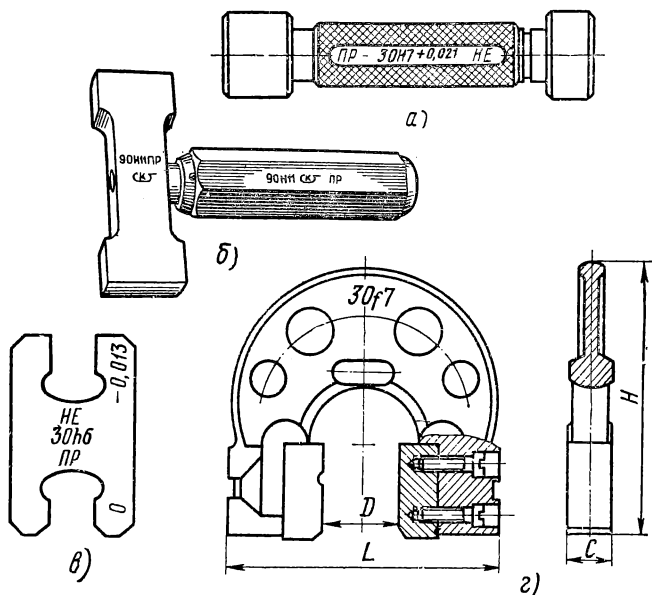


Рис. 48. Калибры:

а — двусторонняя пробка, б — односторонняя пробка, в — двусторонняя скоба, г — предельная регулируемая скоба

неполные. Для больших размеров свыше 360 мм вместо пробок применяют сферические нутромеры.

Калибры-скобы для валов чаще всего применяют односторонние предельные целые или двусторонние листовые (рис. 48, в). Для валов с размерами от 100 до 360 мм применяют односторонние предельные скобы со вставными губками (рис. 48, г). На калибры наносятся следующие обозначения (маркировка): номинальный размер контролируемой детали, обозначение поля допуска детали и класса точности (квалитета), цифровые величины предельных отклонений детали в миллимет-

рах, обозначение сторон калибра — проходная ПР и непроходная НЕ, товарный знак завода-изготовителя. Например, маркировка на пробке (см. рис. 48, б) в виде 90H11 обозначает, что пробка предназначена для контроля отверстия с номинальным диаметром 90 мм и допуском по 11-му квалите-

ту. Для проходных калибров в стандартах предусмотрены допуски на изготовление и износ, а на непроходные — только допуски на изготовление. Стандартные отклонения на изготовление и износ калибров отсчитываются от предельных размеров валов и отверстий; для проходных скоб — от наибольшего предельного размера вала, а для проходных пробок — от наименьшего предельного размера отверстия; для непроходных калибров, наоборот, — от наименьшего размера вала и наибольшего размера отверстия.

Графическое изображение полей допусков на дета-

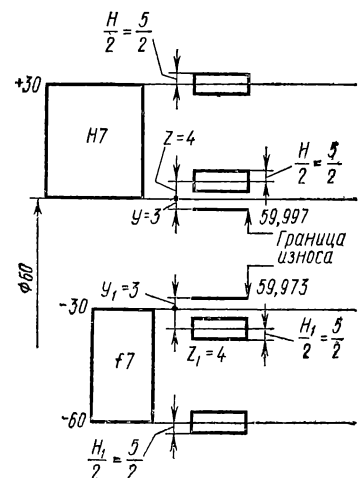


Рис. 49. Схема расположения полей допусков на калибры по ЕСПД СЭВ

ли и рабочие калибры для сопряжения $60 \frac{H7}{f7}$ приведены на рис. 49, отклонения взяты из СТ СЭВ 157—75, который в СССР введен в качестве Государственного стандарта «Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски». Стандарт предусматривает особый порядок определения предельных (исполнительных) размеров проходных калибров, что видно из схемы расположения полей допусков на детали (H7 и f7) и калибры (рис. 49). Приведенные обозначения Z, H, Y, α и их числовые значения (в мкм) взяты из табл. СТ СЭВ 157—75 (приложение III), Z и Z₁ — это отклонения середины поля допуска на изготовление проходных калибров (Z для отверстия и Z₁ для вала) относительно наименьшего размера отверстия D_{min} и наибольшего предельного размера вала D_{max}; H и H₁ — допуски на изготовление проходных и непроходных калибров (для отверстия H и

вала H_1); Y и Y_1 — допустимые выходы изношенного калибра за границу поля допуска (отверстия Y и вала Y_1).

Для калибров с размерами более 180 мм предусмотрены еще величины компенсаций погрешности контроля калибрами, обозначаемые α для отверстий и α_1 для вала.

Формулы для подсчета предельных размеров рабочих калибров приведены в табл. 23.

23. Формулы для определения предельных размеров рабочих калибров

Сторона калибра и размер	Номинальный размер изделия до 180 мм	
	Калибр-пробка	Калибр-скоба
Проходная сторона		
Наибольший	$D_{\min} + Z + \frac{H}{2}$	$D_{\max} - Z_1 + \frac{H_1}{2}$
Наименьший	$D_{\min} + Z - \frac{H}{2}$	$D_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2}$
Изношенный	$D_{\min} - Y$	$D_{\max} + Y_1$
Непроходная сторона		
Наибольший	$D_{\max} + \frac{H}{2}$	$D_{\min} + \frac{H_1}{2}$
Наименьший	$D_{\max} - \frac{H}{2}$	$D_{\min} - \frac{H_1}{2}$

На графике показано влияние размеров калибров на размеры деталей и характер посадки. Так как детали считают годными в пределах допустимых размеров рабочих калибров, то при контроле валов скобой с размером на пределе износа могут быть пропущены валы, имеющие размер до 3 мкм больше наибольшего размера по чертежу, а при контроле отверстий проходной пробкой с размером на пределе износа может быть пропущено отверстие, имеющее размер до 3 мкм меньше наименьшего размера по чертежу.

При сопряжении таких деталей (вала и отверстия)

наименьший зазор может оказаться равным 0,024 мм, тогда как по данным чертежа он должен быть 0,03 мм.

Из схемы расположения полей допусков на калибры (см. рис. 49) видно, что если рабочему будет дана новая скоба 60f7, у которой проходная сторона изготовлена с наименьшим предельным размером, т. е. 59,9635 мм ($60,0 - 0,03 - 0,004 - 0,0025 = 59,9635$ мм), а непроходная с наибольшим предельным размером 59,9425 мм ($60,0 - 0,06 + 0,0025 = 59,9425$ мм), то фактически рабочему придется обрабатывать вал с допуском не 30 мкм, а только 21,0 мкм. Этот допуск называется производственным, он меньше допуска, предусмотренного в чертеже детали на величину допускаемых отклонений на изготовление калибров. Если же рабочему попадет скоба с размером по проходной стороне на пределе износа $59,97 + 0,003 = 59,973$, а контролер возьмет новую скобу с наименьшим возможным размером (59,9635 мм), то часть деталей, изготовленных рабочим с размерами больше 59,9635 мм, будет забракована контролером. Чтобы исключить подобные случаи, рабочим выдаются новые калибры, а контролерам — бывшие в эксплуатации.

Для проверки деталей представителями заказчика применяются приемные калибры. Они вводятся отраслевыми стандартами. Приемные калибры специально не изготавливают, ими могут быть изношенные проходные и новые непроходные рабочие калибры.

При проверке деталей калибрами запрещено прилагать усилие при наложении скобы на вал и при введении пробки в отверстие; проверять вращающиеся детали на станке, так как это приводит к быстрому износу калибра (кроме того, такое действие запрещается по условиям техники безопасности); проверять валы скобой, если ее роняли на пол (она могла деформироваться и изменить размер).

§ 9. Механизация и автоматизация контроля деталей

При проверке деталей на приспособлениях с индикаторами рабочие и контролеры должны внимательно следить за стрелками измерительных средств. Так как многомерное приспособление оснащено несколькими индикаторами, то контроль становится утомительным и возможность ошибки увеличивается.

Теперь на смену индикаторам приходят различные электроконтактные датчики (двухпредельные, трехпредельные и амплитудные).

На рис. 50, а показан малогабаритный датчик модели 233 с основными размерами, а на рис. 50, б — схема его устройства. В жестком корпусе 1 запрессована гильза 2, в которой перемещается измерительный стержень 3. С перемещением стержня 3 происходит поворот рычага 4. Рычаг 4 установлен на ножевидной опоре 5 и имеет

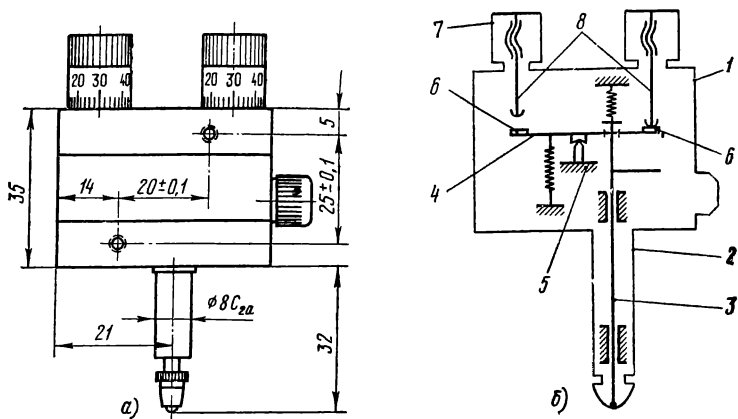


Рис. 50. Электроконтактный малогабаритный датчик (а), схема его устройства (б)

по концам подвижные контакты 6, которые подсоединены к проводу. При помощи микрометрических винтов 7 перемещаются контакты 8, которые настраиваются на два предельных размера по блоку концевых мер. Контакты 8 подключены к двум проводам.

К электроконтактному датчику подключается светор с тремя лампочками, свет которых показывает, что деталь имеет размер в пределах допуска или измеряемый размер вышел из пределов допуска.

В автоматах сигнал от датчика используется для срабатывания еще и сортировочных устройств.

В электроконтактные датчики большинства моделей можно встраивать измерительную головку, которая показывает величину отклонения, если размер детали вышел из пределов допуска. Выпускаются также элек-

троконтактные головки, которые заменяют электроконтактные датчики.

Электроконтактные шкальные головки (рис. 51, а) выпускаются на базе рычажно-зубчатого механизма (модели 2ЭКШ и ЭГР) и совмещают в себе электроконтактный датчик и стрелочное отсчетное устройство с ценой деления 0,01 и 0,001 мм. Созданы электроконтактные шкальные головки на базе малогабаритной

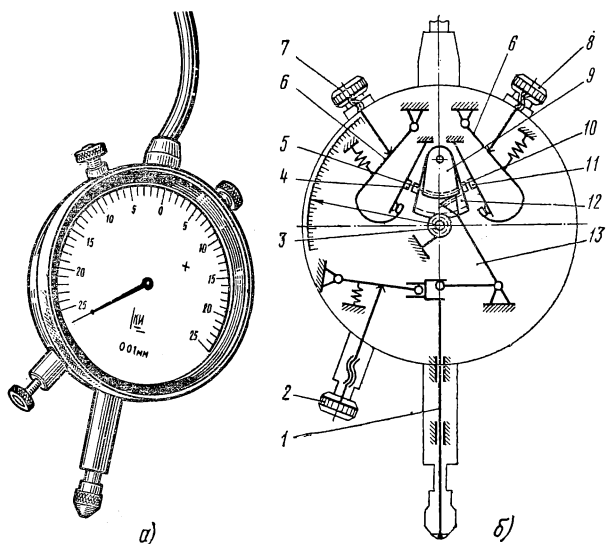


Рис. 51. Электроконтактная шкальная головка:
а — общий вид, б — схема устройства

пружинной головки с ценой деления 0,001 мм. Настройка контактов на предельные размеры осуществляется двумя винтами, расположенными в верхней части головки (рис. 51, а), а винт слева от измерительного стержня служит арретиром.

Малые габариты электроконтактных шкальных головок позволяют широко использовать их в различных многомерных контрольных приспособлениях. Шкальное отсчетное устройство облегчает настройку электроконтактов и показывает действительное отклонение от размеров настройки, что удобно при забраковании детали. В сравнении с рычажно-зубчатыми и пружинными го-

ловками, электроконтактные головки характеризуются большей величиной погрешности показаний по шкале.

Принцип действия головки показан на рис. 51, б. Измерительный наконечник 1 при перемещении воздействует на рычаг с зубчатым сектором 13 и на зубчатый сектор 9, который связан с сектором 12. При перемещении сектора 12 вращается триб 3, на котором насажена стрелка. На секторе 12 располагаются два электрических контакта 10 и 11, а вторая пара контактов 4 и 5 смонтирована на плоских пружинах и настройка их на размер осуществляется винтами 7 и 8 и с помощью подпружиненных рычагов 6. Арретиром является винтовая пара 2.

Наборы типовых сборочных единиц (узлов), деталей и измерительных средств. Для предприятий необходимы универсальные наборы типовых деталей и узлов (плит, призм, бабок с центрами и т. п.), стоек, светофорных устройств и различных измерительных средств, из которых можно было бы быстро собирать различные контрольные приспособления и затем разбирать их после использования. Такие наборы (типа БВ-1107, БВ-1115 и БВ-1120) выпущены для сборки многомерных приспособлений при контроле однородных по форме деталей, например для контроля размеров и формы у различных ступенчатых валиков, втулок и др.

На рис. 52 показано контрольное приспособление, собранное из типовых деталей для контроля размеров и отклонений формы у больших втулок с бортиком или у фланцев.

В наборах можно использовать новый тип стоек с магнитным основанием для крепления на металлических поверхностях. Магнитные стойки выпускаются отдельно от набора. Магнит встроен в корпус стойки; при включении он занимает положение, при котором силовые линии замыкаются через основание для стой-

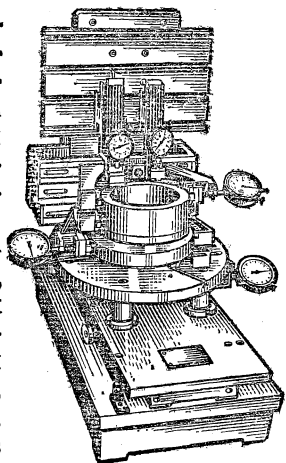


Рис. 52. Контрольное приспособление из типовых деталей

ки. В этом положении стойка держится в любом положении прочно, так как ее сила притяжения к основанию; например к чугунной плите, составляет в среднем 150 Н (15,5 кгс). При переключении магнита силовые линии замыкаются через корпус, поэтому магнитная стойка притягиваться к плите не будет.

Контрольные автоматы. В Советском Союзе накоплен большой опыт проектирования и изготовления

автоматов для контроля деталей по разным параметрам (размерам, твердости, массе, сложным профилям в виде резьбы или зубьев колес и т. д.). Контрольные автоматы относительно дороги и сложны; их применяют в основном для сортировки деталей по размерам на группы для селективной сборки и для контроля размеров и формы наиболее ответственных деталей при массовом выпуске, а также в случае изготовления деталей, когда технологический процесс является неустойчивым.

Прогрессивным направлением в области

автоматизации приемочного контроля готовых изделий является создание универсальных автоматов из типовых сборочных единиц (узлов) для контроля однотипных деталей. Так, в промышленности используют многомерные однотипные автоматы для контроля изделий разных типоразмеров, например автомат для контроля поршневых пальцев диаметром от 15 до 60 мм; автомат для контроля поршней разных двигателей диаметром от 15 до 60 мм; автомат для контроля прямозубых и косозубых колес с диаметрами от 80 до 320 мм и модулями 1—7 мм; автомат для контроля втулок с наружным

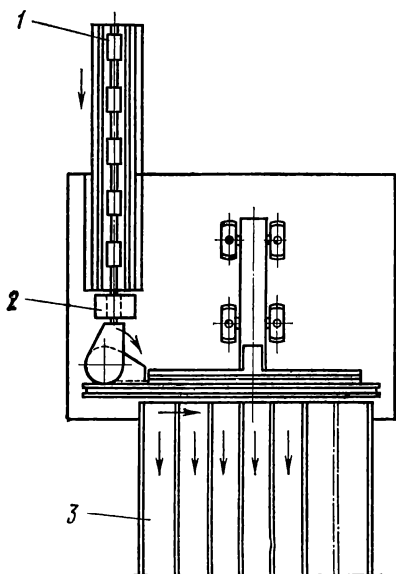


Рис. 53. Схема универсального контрольного автомата для сортировки пальцев разных размеров

диаметром от 5 до 30 мм, внутренним диаметром не менее 3 мм и длиной от 5 до 100 мм; автомат для контроля деталей типа лопаток различных лопастных насосов и т. д.

На рис. 53 представлена схема универсального контрольного автомата БВ-8008 для сортировки поршневых пальцев двигателей автомобилей и мотоциклов. Пальцы 1 поступают по конвейеру на измерительную позицию 2, где с помощью пневматических датчиков проверяются в трех сечениях для выявления отклонений от правильной геометрической формы (от круглости, цилиндричности — двух видов). Одновременно пальцы сортируются по размерам на семь групп с интервалом в 2,5 мкм и по вибрационным лоткам 3 поступают в приемник.

Контрольно - измерительные машины КИМ. Современный прогрессивный способ механизации измерений применен в координатно-измерительных

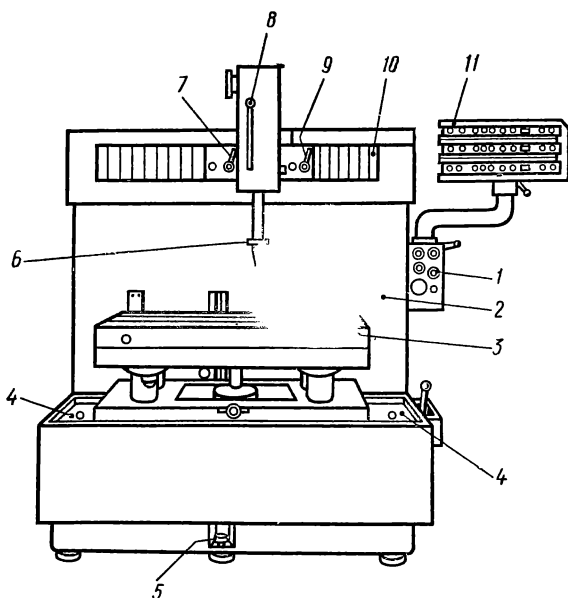


Рис. 54. Общий вид координатно-измерительной машины:

1 — панель включения, 2 — стакина, 3 — стол для деталей, 4 — ящики для принадлежностей, 5 — установка уровня, 6 — измерительный шпиндель, 7, 8, 9 — рукоятки блокировки по осям Y, X, Z, 10 — ширма от пыли, 11 — устройство оптического показа

машинах, которые получают все большее распространение в машиностроении. На рис. 54 показана КИМ общего назначения среднего типа, на которой можно измерять практически все размеры деталей с габаритными размерами $650 \times 400 \times 180$ мм. Используя возможность перемещения измерительного шпинделя по осям X , Y и Z , на машине можно не только измерять наружные и внутренние размеры, расстояние между осями отверстий, поверхности сложной формы, отклонения формы и расположения поверхностей и т. д., но и автоматически записывать результаты измерений с помощью печатного устройства. КИМ можно подключить к специально разработанной электронно-вычислительной машине ЭВМ для обработки результатов измерений или составления программы для обрабатывающих станков по результатам измерения образцовых деталей, например для обработки штампов.

К КИМ обычно прилагаются наборы различных принадлежностей не только для разных измерений, но и для разметки поверхностей, гравирования, центровки, сверления отверстий и других работ.

§ 10. Измерительные средства активного контроля

Активным контролем называется контроль деталей или в процессе обработки их, или непосредственно после изготовления с воздействием на управление станков.

Контроль деталей в процессе обработки предупреждает появление брака и облегчает работу рабочих и контролеров. Измерительные устройства для активного контроля выпускаются отечественными заводами к различным металлорежущим станкам.

На рис. 55, б показана схема устройства с навесной трехконтактной скобой и индикатором. Два контакта — нижний 1 и боковой 2 — упорные, а подвижный контакт 3 — измерительный, контакт 3 расположен в штоке 4, прикрепленном к корпусу 5 с помощью подвесок 6. Измерительное усилие на штоке создается пружиной 7. При обработке размер детали изменяется и это изменение передается через шток 4 индикатору 8.

Предварительно скобу настраивают по образцовой детали с установкой стрелки индикатора на нуль. Эти устройства называются визуальными и выпускаются

трех моделей: БВ-3028—60, БВ-3023—100 и БВ-3023—160 (последние цифры показывают наибольший измеряемый размер).

Широко применяемые визуальные устройства позволяют рабочему наблюдать за изменением размера изготавливаемой детали и своевременно останавливать станок или изменять режимы обработки.

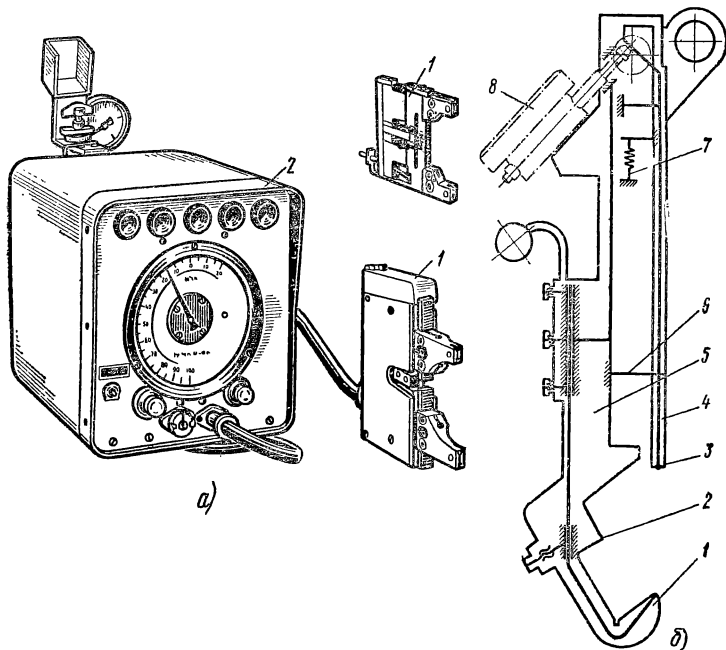


Рис. 55. Приборы активного контроля:

а — накладная скоба и отсчетное устройство, *б* — схема навесной скобы с индикатором

На рис. 55, *а* показано более сложное пневматическое устройство типа БВ-1096 к круглошлифовальным станкам. Прибор состоит из накладной двухконтактной измерительной скобы 1 и отсчетного устройства 2. Измерительная скоба закрепляется при помощи специального устройства на суппорте станка. Эти устройства обеспечивают подвод скобы к обрабатываемой детали и отвод ее.

Прибор типа БВ-1096 имеет несколько моделей, различающихся по цене деления стрелочного устройства (1; 0,5 и 0,2 мкм) и числом выдаваемых команд (без команд, две-три и четыре команды). Команды предусматривают автоматическое переключение подач шлифовального круга, отвод его от изделия и остановку станка при достижении заданного размера. Одновременно осуществляется подача светового сигнала. Пределы измерений от 2,5 до 125 мм. Измерительное устройство показывает рабочему также процесс изменения размера при обработке.

§ 11. Методы и средства контроля отклонений формы и расположения поверхностей

Контроль плоскостности и прямолинейности. Схема измерения отклонений от плоскостности и прямолинейности показана на рис. 56. Проверяемую деталь 1 при помощи трех опор 2 (регулируемых) устанавливают на плиту 3. При перемещении стойки 4 по плите в различных направлениях измерительная

головка 5 покажет величины и место выпуклости и вогнутости. Отклонение от прямолинейности определяется как разность между наибольшим и наименьшим показаниями по шкале измерительной головки.

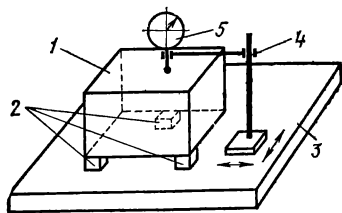
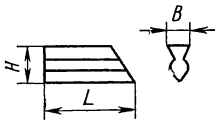
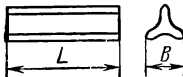
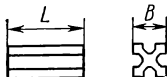
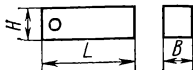


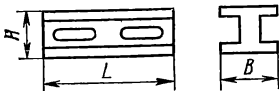
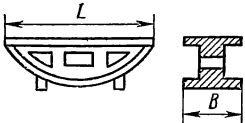
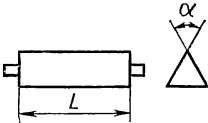
Рис. 56. Схема измерения отклонений от плоскостности и прямолинейности

Отклонения от плоскостности и прямолинейности можно определить по отпечатку краски при помощи поверочных линейек или плит. Для этого широкие лекальные линейки или поверочные плиты, после нанесения на них тонкого слоя краски, передвигают по проверяемой поверхности. Выступающие части проверяемой поверхности окрасятся, и по числу и расположению пятен краски определится отклонение от плоскостности поверхности. Типы, размеры и допускаемые отклонения поверочных линейек приведены в табл. 24.

Контроль на просвет. Прямолинейность образующей цилиндра или конуса деталей на длине до

24. Типы, размеры и допустимые отклонения поверочных линеек

Типы линеек	Допускаемые отклонения от прямолинейности (плоскостности), мкм			Размеры $L \times B \times H$, мм	Основной метод проверки изделия
	Классы точности				
	0-й	1-й	2-й		
ЛД — лекальные с двусторонним скосом 	0,8 1,0 1,2 1,6 2,0	1,2 1,6 2,0 2,5 3,0	2,0 2,5 3,0 4,0 5,0	80×20×5 125×22×5 200×25×6 315×30×8 500×30×8	Метод световой щели
ЛТ — лекальные трехгранные 	1,6 1,6	2,5 2,5	— —	200×26 320×30	
ЛЧ — лекальные четырехгранные 	1,6 1,6 2,5	2,5 2,5 4,0	— — —	200×20 320×25 500×35	
ШП — с широкой рабочей поверхностью прямоугольного сечения 	2,5 4 4	6 10 10	10 16 16	400×40×6 630×50×10 1000×60×12	Метод линейных отклонений

Типы линейки	Допускаемые отклонения от прямолинейности (плоскостности), мм			Размеры $L \times B \times H$, мм	Основной метод проверки изделия
	Класс точности				
	0-й	1-й	2-й		
ШД — с широкой рабочей поверхностью двутаврового сечения 	4 4 — — —	10 10 16 25 40	16 16 25 40 60	$630 \times 50 \times 14$ $1000 \times 60 \times 16$ $1600 \times 75 \times 18$ $2500 \times 100 \times 20$ $4000 \times 160 \times 30$	
ШМ — с широкой рабочей поверхностью мостика 	2,5 4 4 — — —	6 10 10 16 25 40	10 16 16 25 40 60	400×50 630×50 1000×60 1600×80 2500×100 4000×125	Метод «на краску»
УТ — угловые трехгранные 	—	Число пятен 25 20		630 1000 $\alpha = 45, 55$ и 60°	

1200 мм определяют с помощью поверочной лекальной линейки на просвет (рис. 57). Линейку 1 берут за теплоизоляционную прокладку и ставят ребром на образующую цилиндра или конуса; за линейкой помещают длинную люминесцентную лампу 2. Для совмещения образующей цилиндра с ребром линейки последнюю поворачивают и наблюдают за просветом. Совпадение ребра линейки с образующей характеризуется просве-

том. Навыки совмещения ребра линейки с образующей приобретаются быстро. Величину просвета определяют сравнением с образцом просвета или при помощи микроскопа.

Образцы просвета делают с помощью плиток и лекальной линейки со скосом. На стеклянную пластину на некотором расстоянии друг от друга кладут две плитки с одинаковыми размерами, например по 5 мм, и между ними помещают плитки такого же размера для получения нужного нам просвета. Например, для получения просвета в 2 и 5 мкм берут блоки плиток с размерами 4,998 и 4,995 мм. Если мы приложим лекальную линейку на крайние плитки с размерами по 5 мм и посмотрим на свет, то между ними увидим просвет в 2 и 5 мкм.

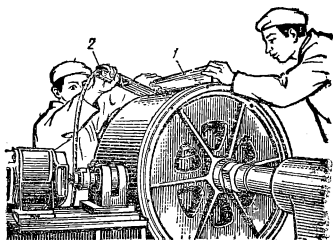


Рис. 57. Контроль отклонений от прямолинейности на просвет с помощью поверочной линейки

Если просвет допускается от 10 мкм и выше, то его величину определяют подкладыванием мерной бумаги, толщина которой заранее известна.

При некотором навыке работы с образцом просвета и хорошем подсвете можно определить на глаз величину просвета, начиная от 2 мкм.

Для контроля наклона и расположения горизонтальных и вертикальных плоскостей чаще всего используют различные уровни: рамные, брусковые, микрометрические и др. (рис. 58). Основной частью уровней является ампула, заполненная эфиром или этиловым спиртом. При заполнении ампулы внутри ее оставляют маленький пузырек воздуха, который всегда занимает наивысшее положение, являясь подвижным указателем шкалы.

Внутренняя полость у ампулы отшлифована по радиусу большого размера и поэтому пузырек воздуха всегда находится в верхней части. Если корпус уровня вместе с ампулой повернуть, то жидкость как бы перельется в ампулу, а пузырек опять будет занимать верхнее положение.

Ценой деления шкалы ампулы называется

наклон уровня, соответствующий перемещению пузырька на одно деление шкалы (в миллиметрах на 1 м длины). Величина наклона 0,01 мм на 1 м длины соответствует углу 2".

Рамные уровни (рис. 58, а) выпускаются для контроля прямолинейности и плоскостности горизон-

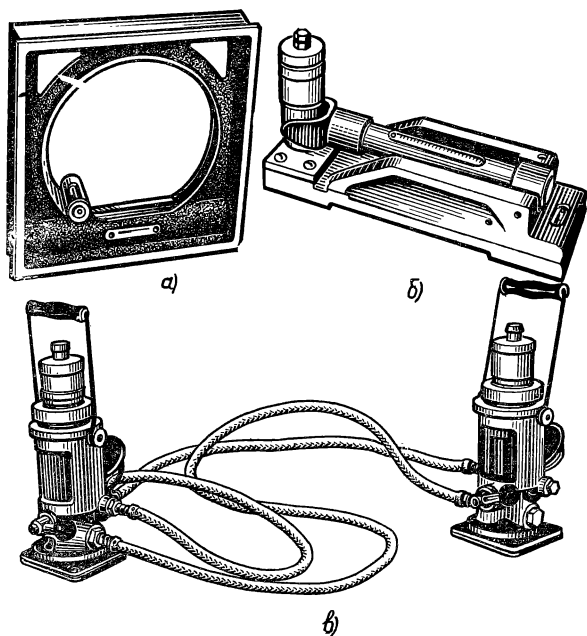


Рис. 58. Уровни:

а — рамный, б — брусковый микрометр, в — гидростатический

тально и вертикально расположенных плоских и цилиндрических поверхностей. По точности уровни делятся на три группы (I, II, III), а по размерам сторон на два типа: с размерами 200×200 мм и 100×100 мм.

Уровни группы точности I имеют цену деления от 0,02 до 0,05 мм на 1 м (или от 4 до 10"), уровни группы точности II соответственно от 0,06 до 0,1 мм (от 12 до 20") и уровни группы III — от 0,12 до 0,2 мм (от 24 до 40").

Брусковые уровни предназначены для контро-

ля прямолинейности и плоскостности горизонтально расположенных плоских и цилиндрических поверхностей. По точности уровни делятся на три группы (I, II, III) и различаются ценой деления, значения которых те же, что и у рамных уровней.

Микрометрические уровни выпускаются для контроля прямолинейности и взаимного расположения прямолинейных и цилиндрических поверхностей (рис. 58, б). Отсчет показаний производится по шкале микрометрической головки, а в небольших пределах — по шкале ампулы. Цена деления микрометрической головки и основной ампулы 0,1 мм на 1 м, предельная погрешность $\pm 0,1$ мм на 1 м.

Для более точных измерений используют микрометрические уровни повышенной точности с ценой деления 0,01 и 0,02 мм на 1 м. Уровни с ценой деления 0,01 мм на 1 м имеют предельную погрешность $\pm 0,01$ мм в пределах ± 1 мм на 1 м, а с ценой деления 0,02 мм погрешность $\pm 0,02$ мм на всем пределе измерений (± 10 мм на 1 м).

Гидростатический уровень (рис. 58, в) часто используется для контроля прямолинейности, плоскостности и перекосов горизонтальных поверхностей большой протяженности (модели 115-1 на длине до 12 м и 115-2 на длине до 24 м). В основу измерения положен принцип сообщающихся сосудов, которые снабжены измерительными головками и соединены между собой прозрачными шлангами.

Один сосуд при измерении остается все время на одном месте, а другой передвигается по контролируемой поверхности. Если при отклонении от плоскостности сосуды расположатся на разной высоте, то уровень воды в них изменится. Изменение уровня определяют с помощью специального микрометрического винта.

Контроль цилиндричности и круглости. Контроль круглости. Отклонение от круглости у внутренних и наружных цилиндрических поверхностей деталей измеряется при помощи приборов, называемых кругломерами.

У большинства кругломеров имеется высокоточный шпиндель, установленный на точных направляющих. На шпинделе находится датчик, вращающийся вместе с ним. Наконечник датчика контактирует с поверхностью проверяемой детали, которая неподвижно распо-

25. Кругломеры

Наименование кругломеров	Модель	Класс	Проверяемые размеры, мм		Допускаемые погрешности	
			наружные и внутрен- ние диа- метры	высо- та до	радиаль- ные	осевые
Индуктивные ГОСТ 17353—71	225	1	3—250	400	0,00005	0,00008
	258	2	3—250	1600	0,00012	0,00015
	256	2	3—250	1000	0,00012	0,00015
Индуктивные настольные	257	2	3—160	160	0,00012	0,00015
Пневматиче- ские настоль- ные	БВ-20003	3	3—160	160	0,0003	0,0003

ложена на столе. Показания датчика записываются самописцем в виде круговой диаграммы.

Для контроля круглости у деталей больших размеров применяют кругломеры, в которых вращается деталь, а датчик неподвижен.

На рис. 59, а показан кругломер, на стол которого установлена деталь 2. При одном полном обороте детали все неровности в заданном поперечном сечении детали воспринимаются шупом 3, усиливаются и передаются самописцу 5, который вычерчивает диаграмму некруглости с увеличением до 10 000 раз. На рис. 59, б показана диаграмма круглости, снятая в трех сечениях конического калибра-пробки (Морзе 5) с увеличением в 3000 раз. Отклонения от круглости у такого точного изделия, как калибр, составляют: в первом сечении 2,6 мкм (четко выраженная овальность), а во втором и третьем сечениях 0,7 и 0,8 мкм.

Кругломеры отличаются друг от друга принципом действия (индуктивные или пневматические устройства) и габаритами проверяемых деталей. Основные данные о кругломерах приведены в табл. 25.

Овальность (точнее ее величина) определяется как половиной максимальной разности диаметров в двух перпендикулярных сечениях (см. рис. 12, д). Для измерения овальности применяют различные измерительные средства в зависимости от требуемой точности (микрометры, рычажные скобы, пневматические длиномеры и др.). Для того чтобы быть уверенным,

что при измерении действительно была выявлена максимальная разность двух диаметров, необходимо вал измерять не менее чем в шести сечениях.

Огранку выявляют при вращении детали на призме. Измерительный наконечник отсчетной головки, закрепленной в стойке, направлен по биссектрисе приз-

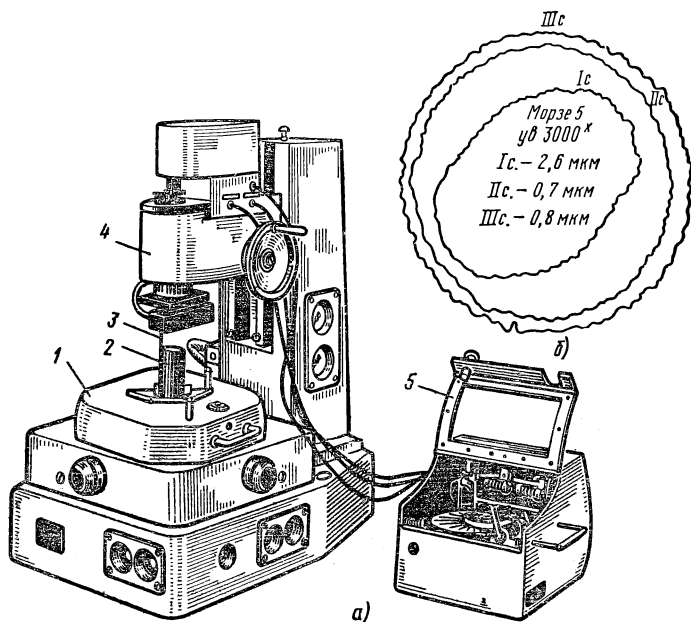


Рис. 59. Кругломер (а), диаграммы круглости (б)

мы. Показания измерительной головки пересчитывают с учетом угла призмы и числа граней. Если угол призмы равен 90° и обнаружена огранка с пятью гранями, то за величину огранки приближенно берут половину разности между наибольшим и наименьшим показаниями головки.

Конусообразность (величина ее) определяется как половина разности между наибольшим и наименьшим диаметрами, полученными измерениями в двух сечениях по краям детали (см. рис. 13, а) или на заданной длине.

Бочкообразность и седлообразность определяются как половина разности между наибольшим

и наименьшим диаметрами, измеренными в трех сечениях— по краям и в середине (см. рис. 13, б и в) или на заданной длине.

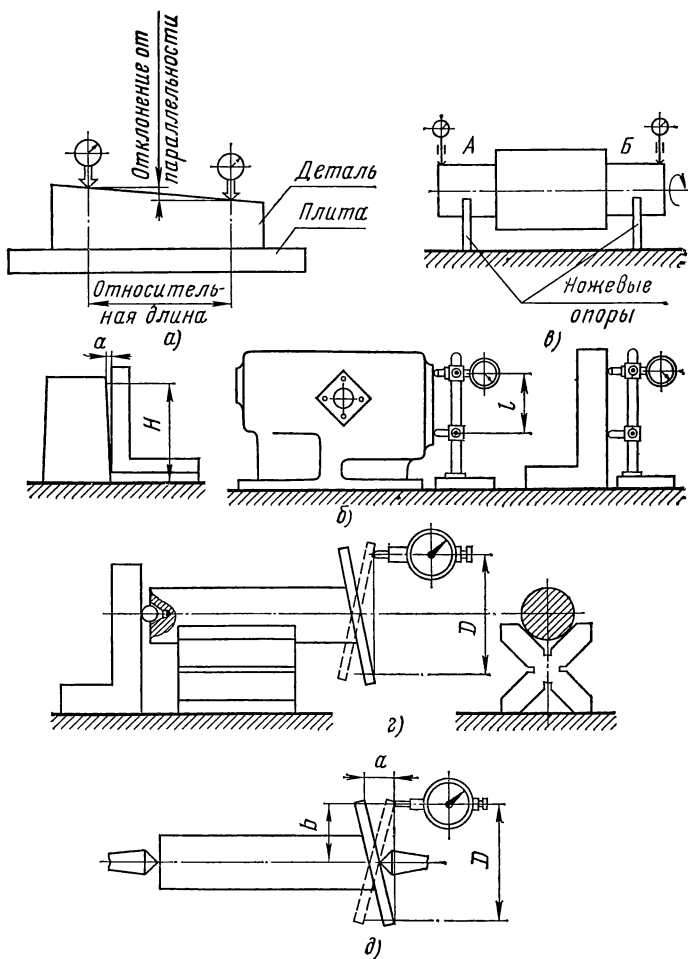


Рис. 60. Контроль положения поверхностей вала:

а — параллельности, *б* — перпендикулярности, *в* — соосности, *г* — торцового биения вала в призме, *д* — в центрах

Для контроля конусообразности, бочкообразности и седлообразности можно использовать различные изме-

рительные средства в зависимости от требующейся точности измерения (штангенциркули, микрометры, индикаторные скобы и т. д.).

Контроль положения поверхностей. Примерные схемы контроля положения поверхностей приведены на рис. 60.

Контроль параллельности двух плоскостей одной детали можно осуществить с помощью поверочной плиты и стойки с измерительной головкой (рис. 60, а).

Контроль перпендикулярности двух поверхностей чаще всего проверяют угольником со щупом или измерительной головкой, предварительно установленной по угольнику (рис. 60, б).

Контроль соосности двух цилиндрических частей одной детали (ступенчатого вала, втулки с бортиком и др.) чаще всего совмещают с контролем радиального биения. Величина радиального биения — разность между наибольшим и наименьшим показаниями измерительной головки при одном обороте детали на призме или в центрах (рис. 60, в).

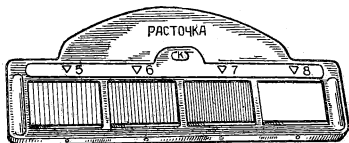


Рис. 61. Образцы для контроля шероховатости поверхностей методом сравнения

Торцовое биение измеряется на наибольшем диаметре проверяемой поверхности или на заданном диаметре с помощью плиты, призмы (рис. 60, г) или центров (рис. 60, д), измерительной головки, закрепленной в стойке. Для устранения осевого перемещения детали при измерении торцового биения деталь прижимают (через шарик) к упору, установленному в пазе плиты.

На заводах широко применяют приборы для проверки цилиндрических деталей на биение в центрах, выпускают приборы трех моделей с ценой деления отсчетного устройства 0,001 мм. Наибольшее расстояние между центрами показано в обозначениях моделей приборов: ПБМ-200; ПБМ-500 и ПБ-1400, а высота центров соответственно будет 75, 125 и 235 мм.

В целях повышения производительности и объективности контроля целесообразно совмещать контроль отклонений формы и расположения поверхностей с контролем диаметральных и линейных размеров дета-

лей на одном приспособлении или приборе. Специальные контрольные приспособления и приборы для контроля отклонений формы и положения поверхностей у различных по конфигурации и габаритам деталей выпускаются по особым заказам.

§ 12. Контроль шероховатости поверхностей

Наиболее распространенным способом оценки качества обработанных поверхностей является сравнение этих поверхностей с поверхностями рабочих образцов. Сравнение осуществляется визуально.

Рабочие образцы шероховатости поверхности стандартизованы и выпускаются с шероховатостью разных классов, полученной точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой.

Образцы по видам обработки комплектуются в оправах, и по применяемому материалу наборы помещаются в футляры. Чтобы глаза не утомлялись от излишнего напряжения при сличении двух поверхностей с шероховатостью не выше от Ra 2,5 до 0,16 мкм, а также для усиления возможности человеческого глаза рекомендуется пользоваться лупой.

На рис. 61 показаны образцы для контроля шероховатости поверхностей.

Для более точной оценки шероховатости поверхностей применяют микроскопы сравнения, а для определения величины шероховатости в микрометрах — различные микроскопы (интерференционный, двойной) и контактные щуповые приборы.

Для аттестации рабочих образцов и фотографирования высот неровностей у деталей с ответственными поверхностями применяют прибор, называемый интерферометром, модели МИИ-4 или МИИ-11.

На этом приборе (рис. 62) можно измерять шероховатость поверхности от Ra 0,16 до 0,008 мкм.

Измеряемую деталь устанавливают на предметный столик 1, который может перемещаться во взаимно перпендикулярных направлениях. Источником света является лампа осветителя 2. В поле зрения окуляра 3 одновременно попадает исследуемая поверхность и интерференционные полосы, соответственно искривленные неровностями поверхности.

К контактно-щуповым приборам относятся приборы, называемые профилометрами и профилографами.

Профилометры предназначены для непосредственного показа среднего арифметического отклонения профиля поверхности Ra , а профилографы — для записи профиля поверхности в виде профилограммы.

В промышленности применяют профилографы-профилометры мод. 201, 202 и 252 и профилометры цехового типа мод. 253, 283, изготавливаемые заводом «Калибр».

Профилограф-профилометр мод. 252 с унифицированными блоками и цифровым отсчетным устройством (рис. 63, а) предназначен для измерения в лабораторных условиях шероховатости и волнистости поверхности изделий, сечение которых в плоскости измерения представляет прямую линию.

Прибор состоит из стойки 1 с приводом 2, универсального предметного столика 6, блока управления 4, счетно-решающего блока 3, измерительного преобразователя (датчика) 5 и записывающего устройства 7.

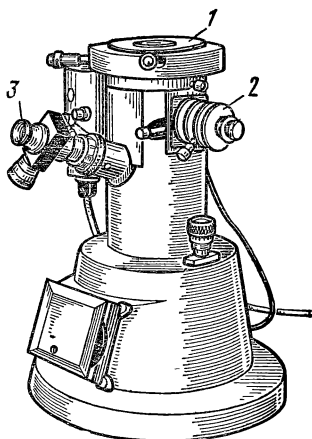


Рис. 62. Интерференционный микроскоп МИИ-4

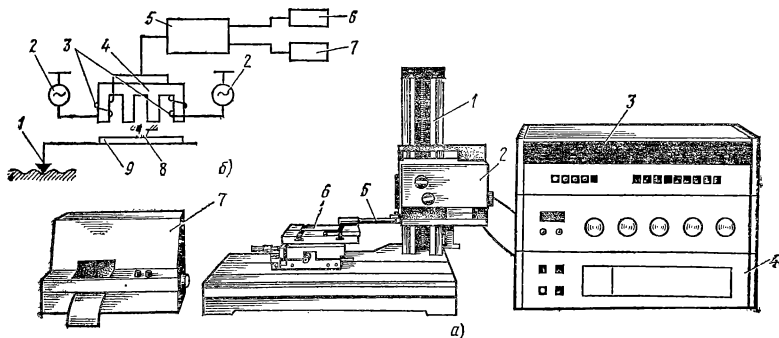


Рис. 63. Щуповые приборы:

а — профилометр-профилограф мод. 252, б — принципиальная схема

Принцип действия прибора (рис. 63, б) основан на ощупывании исследуемой поверхности алмазной иглой с радиусом закругления 10 мкм и преобразовании колебаний иглы в соответствующие изменения напряжения. Алмазная игла закреплена на якоре 9 измерительного преобразователя.

При перемещении преобразователя относительно исследуемой поверхности игла и якорь колеблются на опоре 8 относительно сдвоенного Ш-образного сердечника, на котором закреплены две катушки преобразователя. Катушки включены в мостовую схему, которая питается от генератора 2. При колебаниях якоря изменяются воздушные зазоры между якоре и сердечником, индуктивности катушек и выходное напряжение мостовой схемы. Выходные сигналы с мостовой схемы поступают на блок управления 4 и счетно-решающий блок 3, а затем на записывающее устройство 7. Частота выходных сигналов соответствует шагу микронеровностей, а амплитуда пропорциональна высоте микронеровностей.

Числовые значения параметров шероховатости поверхности определяются с помощью пятиразрядного отсчетного устройства, расположенного на передней панели счетно-решающего блока.

По показывающему устройству определяются R_a ; $H_{\text{макс}}$ — высота наибольшего выступа профиля; $H_{\text{мин}}$ — глубина наибольшей впадины профиля; t_p — относительная опорная длина и n — число шагов.

Заводом «Калибр» выпускаются профилометры-профилографы мод. 202 с дополнительными устройствами (по заказам) для измерения шероховатости криволинейных поверхностей с радиусом кривизны от 4 до 80 мм и от 50 мм и больше и для измерения шероховатости поверхностей шариков и роликов от 1 до 25 мм. При измерении шероховатости на профилометре-профилографе допускаемая погрешность показаний составляет $\pm 10\%$, а при использовании дополнительных устройств — погрешность $\pm 16\%$.

На оптических приборах светового сечения (МИС-11 и ПСС) и растровых измерительных микроскопах (ОРИМ-1) можно измерять высотные параметры в пределах от 0,5 до 80 мкм, а шаговые параметры от 0,002 до 8 мм.

§ 13. Условия, определяющие выбор измерительных средств

При выборе измерительных средств для контроля изделий учитывают совокупность метрологических (цена деления, погрешность измерения и др.), эксплуатационных и экономических показателей. К эксплуатационным и экономическим показателям относятся: повторяемость измеряемых размеров (массовость) и доступность их для контроля; стоимость и надежность измерительных средств; продолжительность работы (до ремонта); время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения; масса, габариты и рабочая нагрузка.

При измерении изделий с допусками на обработку правильность выбора измерительных средств определяют отношением величины погрешности измерения к величине допуска на обработку в процентах. Это вытекает из стандартного определения «действительного размера, как размера, установленного измерением с допустимой погрешностью» (СТ СЭВ 145—75). Поэтому каждый конструктор, технолог, мастер, контролер, рабочий должен понять, что невозможно правильно изготовить деталь и собрать машину, не обеспечив измерений с необходимой точностью.

Чем точнее осуществляется измерение, тем лучше, но применение очень точных измерительных средств иногда невыгодно из-за большой стоимости и трудоемкости измерений.

Правильный выбор измерительных средств с учетом допускаемых погрешностей измерений размеров до 500 мм регламентирует ГОСТ 8.051—73, который с 1979 г. заменен СТ СЭВ 303—76. Стандарт предусматривает значения допускаемых погрешностей измерений в зависимости от допусков на обработку как по отечественной системе допусков, так и международной ИСО. Значения допускаемых погрешностей измерений приведены в приложении VIII, они связаны с рядами пределов погрешностей и интервалами размеров до 500 мм.

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

Предел допускаемой погрешности измерения является наибольшей допускаемой погрешностью измерения, включающей влияние погрешностей измерительных

средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т. д. Значения размеров, полученных измерением с погрешностью, не превышающей пределы допускаемой, принимаются за действительные.

При арбитражной перепроверке принятых деталей погрешность измерения не должна превышать 30 % предела погрешности, допускаемой при приемке деталей.

При выборе измерительных средств для размеров от 1 до 500 мм пользуются общемашиностроительными типовыми руководящими материалами РДМУ 98—77, в которых приводятся нормированные значения погрешностей измерений ($\Delta_{\text{изм}}$) размеров и формы изделий при пользовании различными измерительными средствами, выпускаемыми отечественными инструментальными заводами. Эти значения погрешностей установлены с учетом измеряемых размеров температурного режима и приемов измерений. Например, при измерении деталей микрометром величина погрешности зависит от того, держат ли микрометр в руке или он закреплен в стойке, пользуются ли при измерении всем пределом измерения (например, от 25 до 50 мм) или осуществляют измерение только в пределах 0,3 мм и с установкой микрометра по образцу и др.

Значения погрешностей измерений наиболее распространенных цеховых измерительных средств приведены в приложениях IX, X, XI. Погрешности измерений зависят от разных причин: от качества изготовления самих измерительных средств, их состояния при эксплуатации, от точности мер, по которым измерительные средства настраиваются на заданный размер; от температуры, влажности, атмосферного давления, сотрясений почвы, от опыта и внимательности лиц, производящих измерения, от совершенства их органов чувств (остроты зрения, чувствительности рук и т. п.).

Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений регламентирует ГОСТ 8.050—73.

Стандарт устанавливает нормальные значения таких основных влияющих величин: температура окружающей среды 20 °С; атмосферное давление 101324,72 Па (760 мм рт. ст.), относительная влажность окружающего воздуха 58 % и др. Отдельно в стандарте приводятся допускаемые отклонения от них. Стандарт отмечает, что при измерениях должны соблюдаться действующие санитарные нормы и правила безопасности. Воздух, подаваемый

в рабочее пространство, должен быть очищен от пыли, паров, масел, токсичных и агрессивных газов и аэрозолей.

В приложении к стандарту приведены требования, предъявляемые к объектам измерения по шероховатости поверхностей в зависимости от диапазонов измерений.

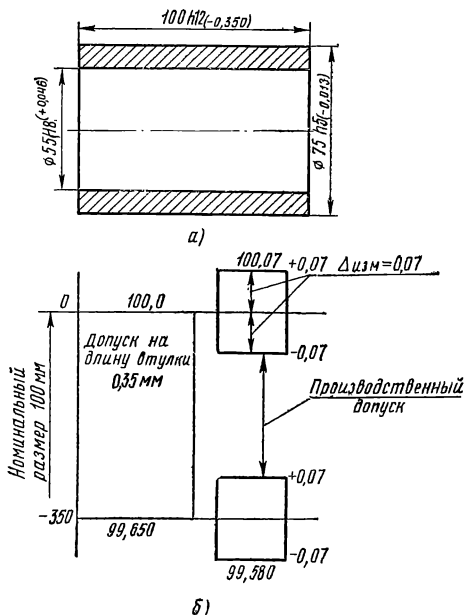


Рис. 64. Эскиз втулки (а), схема расположения поля допуска детали и погрешности измерения (б)

Для повышения точности измерений нужно:
брать более точное измерительное средство;

устанавливать шкалу в нулевое положение по концевой мере более высокого разряда;

доверять измерения наиболее опытным людям или, в необходимых случаях, механизировать или автоматизировать процесс измерений;

выравнивать температуру измерительного средства и измеряемого изделия и проводить измерения при нормальной температуре ($+20^{\circ}\text{C}$);

при изготовлении деталей по ответственным размерам ограничивать допусками возможные отклонения формы поверхностей;

производить измерения несколько раз и принимать за действительный размер среднее значение.

Пример выбора измерительного средства для размеров, указанных на рис. 64, а. По наружному диаметру втулки ($\varnothing 75h5_{(-0,013)}$) допуск равен 13 мкм, по внутреннему диаметру ($\varnothing 55H8_{(+0,046)}$) допуск 46 мкм и по длине детали $100h12_{(-0,35)}$ допуск 350 мкм.

По таблице (см. приложение VIII) находим значение допускаемых погрешностей измерений приведенных размеров соответственно 4,0 мкм; 12 мкм и 70 мкм. Пользуясь значениями допустимых погрешностей измерений, из таблицы находим, что для измерения размеров детали, при температурном режиме до 5 °С подходят: для измерения наружного размера — микрометр рычажный, но закрепленный в стойке и с настройкой номинального размера по концевым мерам 1-го класса; для измерения отверстия — микрометрический нутромер с величиной отсчета 0,01 мм, а для измерения длины детали — микрометр гладкий (см. приложение X).

Рекомендации по обращению с измерительными средствами. При получении точного измерительного средства рекомендуется проверить наличие документа о поверке (паспорта) и не просрочена ли поверка его по установленному графику.

Перед измерением измерительное средство нужно протереть чистой мягкой тканью, особенно тщательно измерительные поверхности, и проверить установку на нуль.

При измерении не допускается проводить измерительными поверхностями по поверхностям деталей, не рекомендуется долго держать в руке измерительный инструмент, так как нагрев всех его частей вызывает дополнительную погрешность измерений.

После проведения измерений измерительные средства не рекомендуется класть на металлические поверхности станков и т. п., нужно протереть их, смазать антикоррозионным составом и уложить в футляры. Наносить удары по измерительному инструменту и ронять его строго запрещается.

Вопросы для повторения

1. Что принято за единицу измерения длины и как она воспроизводится?
2. Можно ли цену деления прибора принимать за точность измерения и какие еще показатели измерительных средств вы знаете?
3. Приведите примеры различных методов измерения: абсолютного, относительного, прямого и косвенного.
4. Для каких целей применяются плоскопараллельные концевые меры длины и как они подразделяются?
5. Каким инструментом — штангенциркулем или микрометром — и почему можно более точно измерить деталь?
6. Приведите различные примеры использования индикаторов часового типа.
7. Какие измерительные головки применяются для измерений?
8. Какие измерительные средства вы знаете для измерения отверстий?
9. Как доводится точное значение государственного эталона длины метра до цеховых измерений?
10. Что понимается под активным контролем и как осуществляется автоматизация и механизация контроля?
11. В чем заключается правильный выбор измерительных средств?
12. Какими средствами измеряются плоскостность и прямолинейность?
13. Как можно определить величину конусообразности, овальности и бочкообразности?
14. Какими средствами определяется перпендикулярность и соосность?
15. Какими средствами можно измерить параметры шероховатости поверхности деталей?
16. Что проверяется на кругломерах и как образуется диаграмма поверхности?

Глава VI

ДОПУСКИ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ И КОНУСОВ

§ 1. Понятия о нормальных углах и конусностях и допусках на угловые размеры

Единицы измерения угла. Распространенной единицей измерения угла является градус, который равен одной трехсотшестидесятой части ($1/360$) окружности. Градус обозначается знаком $^{\circ}$ и делится на 60 минут, а минута — на 60 секунд. Минута и секунда обо-

значаются соответственно ' и " (например, 60" обозначает 60 секунд). Эталонами при угловых измерениях служат многогранные призмы, по которым проверяют образцовые меры в виде разных многогранников (с 6, 8 и 12 гранями), углы которых выполнены с высокой точностью.

Международной системой единиц (СИ) в качестве дополнительной единицы измерения углов предусмотрен радиан. Под радианом понимается угол между двумя радиусами круга, длина дуги между которыми равна радиусу. Один градус равен $\frac{\pi}{180}=0,01745329$ рад,

а один радиан равен $57^{\circ}17'44,8''$. Радиан как дополнительная единица установлен не для непосредственного измерения углов, а в основном для образования ряда производных единиц, предусмотренных в СИ. Например, единицей угловой скорости является радиан в секунду (рад/с), а оборот в секунду или оборот в минуту относится уже к внесистемным единицам.

Нормальные углы (СТ СЭВ 513—76). Угловые размеры, выраженные в градусах, минутах и секундах, имеют большое распространение в чертежах деталей. В целях уменьшения количества разных номинальных значений углов на деталях в стандарте предусмотрены для применения три ряда номинальных значений углов, названных «нормальными углами». В первый ряд входят углы: 0° ; 5° ; 15° ; 30° ; 45° ; 60° ; 90° ; 120° . Значение этих углов рекомендуется брать в первую очередь.

Второй ряд углов, который предпочтителен в сравнении с 3-м рядом, содержит все углы 1-го ряда и дополнительно следующие: $30'$; 1° ; 2° ; 3° ; 4° ; 6° ; 7° ; 8° ; 10° ; 20° ; 40° и 75° .

В третий ряд входят углы первого и второго ряда и дополнительно следующие: $15'$; $45'$; $1^{\circ}30'$; $2^{\circ}30'$; 9° ; 12° ; 18° ; 22° ; 25° ; 35° ; 50° ; 55° ; 65° ; 70° ; 80° ; 85° ; 100° ; 135° ; 150° ; 165° ; 180° и 270° .

Допуски на угловые размеры. В СТ СЭВ 178—75 допуски углов предусмотрены в угловых и линейных величинах в 17 степенях точности, обозначаемых $AT1$, $AT2$, $AT3$ и т. д. до $AT17$ в порядке уменьшения точности. Степени точности с $AT1$ по $AT5$ предназначены для углов калибров, измерительных средств и особо точных изделий, а степени с $AT6$ по $AT12$ — для

сопрягаемых углов. Величины допусков, обозначаемые AT , установлены как в градусной мере $AT\alpha_1$ (секунды, минуты, градусы), так и в микрорадианах $AT\alpha$ (мкрад).

Для углов призматических элементов деталей допуски назначаются в зависимости от номинальной длины меньшей стороны угла α (рис. 65, а), а для углов

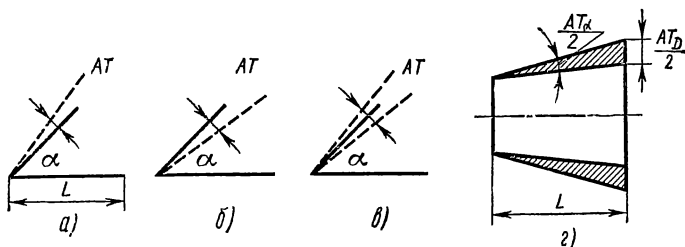


Рис. 65. Схема допусков углов:
 а — $\alpha + AT$, б — $\alpha - AT$, в — $\alpha \pm AT/2$, г — на угол конуса

конусов — в зависимости от номинальной длины конуса (рис. 65, г). В пределах одной степени точности угловые допуски уменьшаются с увеличением длины L (см. приложение VII). Это объясняется тем, что чем больше длина базовой поверхности, тем точнее установка детали на станке, а следовательно, и меньше будет погрешность обработки. На углы призматических деталей допуск угла AT , может быть назначен (рис. 65, а) со знаком плюс ($+AT$) или минус ($-AT$), или симметрично ($\pm AT$).

На угол конуса допуск AT установлен в микрометрах (мкм) на разность диаметров в двух нормальных к оси сечениях конуса на заданном расстоянии L между ними (см. § 2). Для решения задач в приложении VII приведены величины допусков из СТ СЭВ 178—75 для степеней точности $AT6$, $AT7$ и $AT8$, которые широко применяются в инструментальных конусах.

§ 2. Допуски и посадки конических соединений

Конические поверхности деталей должны соответствовать одному из рядов нормальных конусностей общего назначения, предусмотренных в СТ СЭВ 512—76. Конические поверхности применяются:

при неподвижных соединениях (типа прессовых) для обеспечения передач больших усилий;

при неподвижных плотных для обеспечения герметичности (газоводо- и маслонепроницаемости);

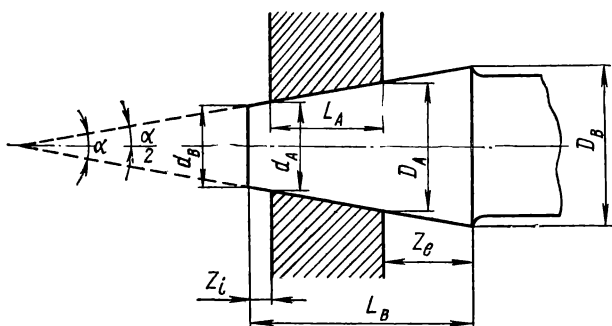


Рис. 66. Схема конического соединения

при подвижных центровых соединениях по типу подшипников трения скольжения;

штифтов, болтов, шкворней, предназначенных для крепления отдельных деталей;

в роликовых конических подшипниках трения качения и в ряде других случаев.

Коническое соединение (рис. 66) в сравнении с цилиндрическим имеет преимущества: можно регулировать величину зазора или натяга относительным смещением деталей вдоль оси; при неподвижном соединении с натягом возможна частая разборка и сборка сборочных единиц (узлов); конические соединения обеспечивают хорошее центрирование деталей и герметичность.

Основные параметры конусов и допуски на них.

Размер D называется большим диаметром соединения, а размер d — малым диаметром (рис. 66).

Большой диаметр у наружного конуса (у вала) обозначается D_B , а внутреннего конуса D_A ; малый диаметр соответственно у наружного конуса d_B , а внутреннего d_A .

Угол $\frac{\alpha}{2}$ между образующей конуса и осью называется углом наклона, а угол α — углом конуса. Отношение раз-

ности $D - d$ к длине конуса L равно $2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ и называется конусностью C :

$$C = \frac{D-d}{L} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

В чертежах и других документах конусность показывают в виде отношения $C=1:L$; например, $C=1:20$ означает, что при длине конуса $L=20$ мм разность диаметров $D-d$ равна 1 мм.

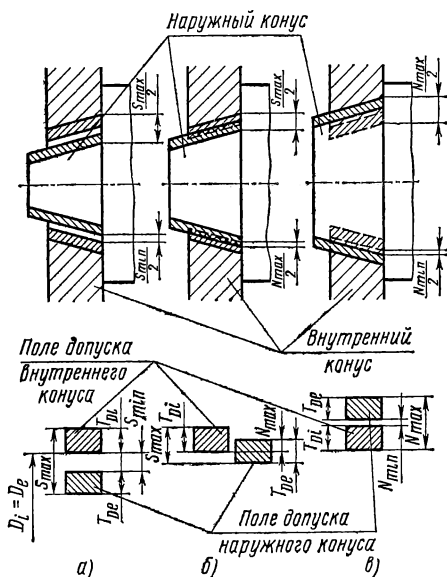


Рис. 67. Посадки с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов:

а — посадка с зазором, *б* — переходная, *в* — с натягом

Основной параметр конического соединения — конусность C есть тригонометрическая функция (тангенс угла), отклонение от которой можно определить только косвенными измерениями. Из-за относительных трудностей обработки конуса и контроля для конических соединений машин и приборов системы допусков и посадок общего назначения до 1979 г. не было. В 1979 г. утвержден СТ СЭВ 1780—79 «Система допусков и посадок для конических соединений».

Коническое соединение характеризуется конической посадкой и базорасстоянием соединения.

Базорасстояние конуса (Z_e — для наружного конуса и Z_i — для внутреннего конуса) — осевое расстояние между основной и базовой плоскостями конуса (см. рис. 66).

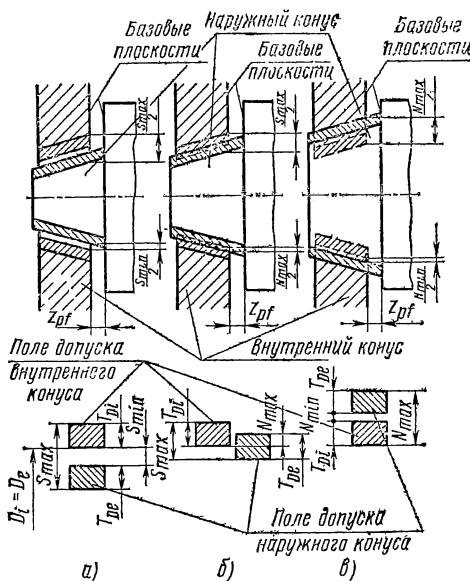


Рис. 68. Посадка с фиксацией по заданному осевому расстоянию:

а — с зазором, б — с натягом, в — переходные

Коническая посадка — характер конического соединения, определяемый разностью диаметров внутреннего и наружного конусов до сборки деталей в поперечных сечениях, совмещаемых в соединении после фиксации взаимного осевого положения сопрягаемых деталей.

В зависимости от способа фиксации взаимного осевого положения наружного и внутреннего конусов посадки подразделяются на следующие.

1. Посадки с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов (рис. 67); при

этом способе фиксации возможно получение посадок с зазором (рис. 67, а), переходных (рис. 67, б) и с натягом (рис. 67, в).

2. Посадки с фиксацией по заданному осевому расстоянию Z_{pf} между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов (рис. 68); при этом способе возможно получение посадок с зазором (рис. 68, а), с натягом (рис. 69, б) и переходных (рис. 68, в).

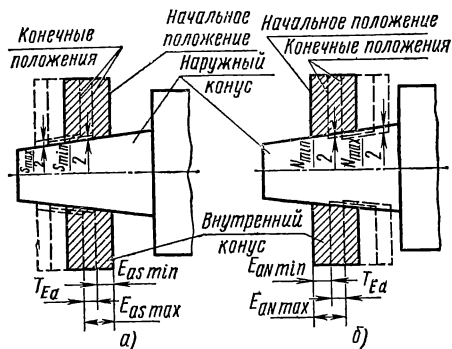


Рис. 69. Посадки с фиксацией по заданному осевому смещению:
а — с зазором, б — с натягом

3. Посадки с фиксацией по заданному осевому смещению Ea сопрягаемых конусов от их начального положения (рис. 69), при этом способе фиксации возможны посадки с зазором (рис. 69, а) и с натягом (рис. 69, б).

4. Посадки с фиксацией по заданному усилию запрессовки F_S , прилагаемому в начальном положении конусов (рис. 70).

Для сопрягаемых конусов устанавливаются следующие виды допусков:

допуск диаметра конуса T_D , допуск угла конуса AT , допуски формы конуса: допуск круглости T_{FR} и прямолинейности T_{FL} . Устанавливается два способа нормирования допусков конусов:

совместное нормирование всех видов допусков допуском T_D диаметра конуса в любом сечении. Допуск T_D определяет поле допуска конуса, ограниченное двумя предельными конусами, между которыми дол-

26. Поля допусков диаметров конусов

Квалитет Допуска T_D или T_{DS}	Наружные конусы										Внутренние конусы									
	Основные отклонения																			
	d	e	f	g	h	i_s	k	m	n	p	r	s	t	u	x	z	H	J_s	N	
Поля допусков																				
01					$h01^*$	i_{s01}^*											$H01^*$	J_{s01}^*		
0					$h0^*$	i_{s0}^*											$H0^*$	J_{s0}^*		
1					$h1^*$	i_{s1}^*											$H1^*$	J_{s1}^*		
2					$h2^*$	i_{s2}^*											$H2^*$	J_{s2}^*		
3					$h3^*$	i_{s3}^*											$H3^*$	J_{s3}^*		
4				$g4$	$h4$	i_s4	$k4$	$m4$	$n4$								$H4$	J_{s4}^*		
5				$g5$	$h5$	i_s5	$k5$	$m5$	$n5$	$p5$	$r5$	$s5$					$H5$	J_{s5}^*		
6			$f6$	$g6$	$h6$	i_s6	$k6$	$m6$	$n6$	$p6$	$r6$	$s6$	$t6$				$H6$	J_{s6}^*		
7		$e7$	$f7$		$h7$	i_s7	$k7$	$m7$				$s7$		$u7$			$H7$	J_{s7}^*		
8	$d8$	$e8$	$f8$		$h8$	i_{s8}^{**}	$k8^{**}$							$u8$	$x8$	$z8$	$H8$	J_{s8}^*		

9	d9	e9	i9	h9	j _s 9**	k9**											H9	J _s 9**	N9**
10				h10**	j _s 10**	k10**											H10**	J _s 10**	N10**
11				h11**	j _s 11**	k11**											H11**	J _s 11**	N11**
12				h12**	j _s 12**	k12**											H12**	J _s 12*	N12**
13				h13*	j _s 13*												H13*	J _s 13*	
14				h14*	j _s 14*												H14*	J _s 14*	
15				h15*	j _s 15*												H15*	J _s 15*	
16				h16*	j _s 16*												H16*	J _s 16*	
17				h17*	j _s 17*												H17*	J _s 17*	

Примечания: 1. Ряды полей допусков, приведенные в табл. 26, являются ограничением рядов полей допусков по СТ СЭВ 144—75 и дополнительно к нему содержат поля допусков k8 — k12 и N10 — N12. 2. Для внутренних конусов с номинальным диаметром до 3 мм вместо полей допусков N9 — N12 должны применяться соответственно поля допусков k9 — k12. 3. * — поля допусков, как правило, не предназначенные для посадок. 4. ** — поля допусков, предназначенные, как правило, только для конических посадок с фиксацией по заданному осевому смещению сопрягаемых конусов от их начального положения или по заданному усилию запрессовки.

жны находиться не только отклонения диаметра, но и отклонения угла и формы конуса (рис. 71);

раздельное нормирование каждого вида допусков: T_{DS} — допуска диаметра конуса в заданном сечении, допуска AT угла конуса; допуска круглости T_{FR} и допуска прямолинейности образующей конуса.

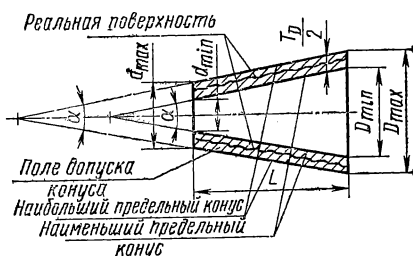
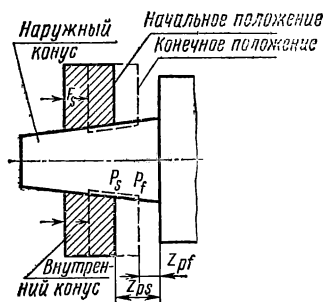


Рис. 70. Посадки с фиксацией по заданному усилию запрессовки

Рис. 71. Нормирование всех видов допусков допуском диаметра

Допуски T_D и T_{DS} назначаются по СТ СЭВ 145—75, угла AT в угловых $AT\alpha$ или линейных AT_D единицах — по СТ СЭВ 178—75, формы T_{FR} и T_{FL} — по СТ СЭВ 636—77.

Поля допусков диаметров конусов приведены в табл. 26.

Поля допусков выбирают с учетом способа фиксации взаимного положения сопрягаемых конусов.

В посадках с фиксацией по конструктивным элементам или по заданному осевому расстоянию следует применять поля допусков не грубее 9-го качества и с основным отклонением H для внутренних конусов, а для наружных с любым из чисел, указанных в табл. 25.

Если фиксация осуществляется по заданному смещению сопрягаемых конусов или по усилию запрессовки, то применяют поля допусков от 8-го до 12-го качества с основными отклонениями: для внутренних конусов H (предпочтительно), J_s или N , для наружных конусов h ; j_s или k .

Предельные отклонения диаметров конусов приводятся в СТ СЭВ 144—75.

Контроль характера посадки осуществляется чаще всего по изменению базорасстояния соединения Z , которое вызывается осевым перемещением одной детали относительно другой. В зависимости от конструкции изделия, условий работы деталей и удобства контроля конструктор может взять за номинальный размер, а следовательно, и базу, или большие диаметры конусов (D_B и D_A) или малые диаметры (d_B и d_A).

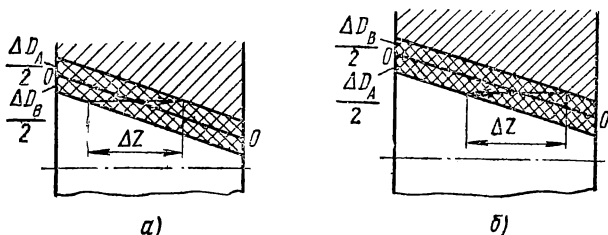


Рис. 72. Расположение полей допусков:
а — при посадке с зазором, б — при посадке с натягом

При посадке с зазором отклонение от номинального размера наружного конуса берется со знаком минус, а для внутреннего конуса — со знаком плюс (рис. 72, а). При посадке с натягом отклонение от номинального размера наружного конуса направлено в плюс, а для внутреннего конуса — в минус (рис. 72, б). В том и другом случае отклонение базорасстояния ΔZ зависит от отклонений диаметров конусов и конусности, так как основные параметры конусов (диаметры, конусность, длина конуса и базорасстояние) геометрически связаны.

Эта зависимость (без учета погрешностей угла) будет:

$$\Delta Z = \frac{\Delta D_B - \Delta D_A}{2 \operatorname{tg} \alpha/2},$$

где ΔD_A — отклонение диаметра внутреннего конуса;
 ΔD_B — отклонение диаметра наружного конуса.

Учитывая сравнительную легкость контроля изменения базорасстояния, на практике часто задаются допуском на базорасстояние T_Z , а по нему рассчитывают допуски на диаметры или угол конуса.

§ 3. Методы и средства измерения углов и конусов

Для контроля углов применяют различные средства: угольники, угловые меры, конические калибры, угломеры, механические и оптические делительные головки, гониометры, синусные линейки и др.

Угольники, калибры и угловые меры являются жесткими контрольными инструментами, они имеют опреде-

ленные значения углов. Угольники подразделяются на цельные (рис. 73, а) и составные (рис. 73, б). Угловые меры — плитки (рис. 73, в) выпускаются наборами с таким расчетом, чтобы из трех — пяти мер можно было составлять блоки в пределах от 10 до 90°; их изготовляют в виде плиток толщиной 5 мм с точностью угла $\pm 10''$ (1-й класс) и $30''$ (2-й класс). Они имеют или один рабочий угол или четыре рабочих угла: α , β , δ , γ .

Угловые меры в основном применяют для проверки и градуировки различных средств измерения углов, но они могут

применяться и непосредственно для измерения углов у деталей машин.

Для измерения углов у деталей чаще всего пользуются универсальными угломерами: нониусными с величиной отсчета 2', оптическими с величиной отсчета 5', индикаторными с величиной отсчета 5'.

Угломер с нониусом (рис. 74) состоит из трех основных частей: жестко скрепленных линейки 1 и лимба 2, который имеет полукруглую форму; жестко скрепленных линейки 5 с сектором 3 и дополнительного угольника 6, которым пользуются при измерении острых углов (менее 90°). Линейка 5 вращается на оси 4, связанной с лимбом.

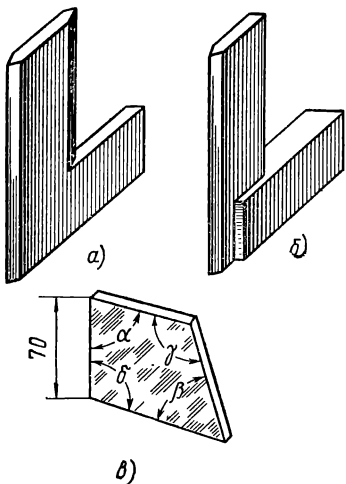


Рис. 73. Виды жестких измерительных средств:

а — цельный угольник, б — составной,
в — угловая мера

На дуге лимба 2 нанесена шкала с ценой деления 1° , а на дуге сектора 3 — нониус, который дает возможность отсчитывать дробные части шкалы. Устройство нониуса аналогично устройству нониуса на штангенциркулях. Так как интервал основной шкалы a принят равным 1° ($60'$), а число делений на нониусе n равным 30, то отсчет по нониусу i равен $2'$:

$$i = \frac{a}{n} = \frac{60'}{30}.$$

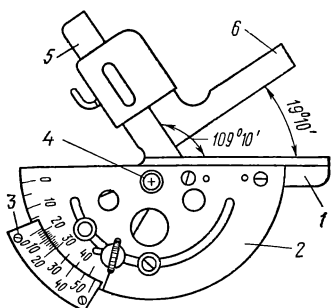


Рис. 74. Нониусный угломер

Для измерения острых углов (менее 90°) к линейке 5 присоединяют дополнительный угольник 6.

Нулевой штрих нониуса показывает число градусов,

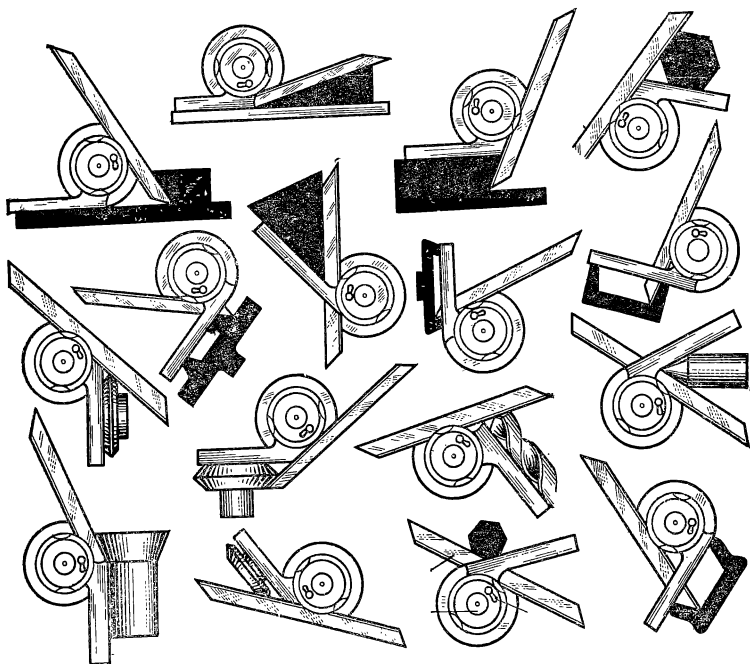


Рис. 75. Примеры пользования угломером

а штрих нониуса, совпадающий со штрихом шкалы лимба 2,— число минут.

При измерении тупых углов (более 90°) дополнительный угольник 6 не нужен, но в этом случае к показаниям, снятым по шкалам, необходимо еще прибавлять 90° . На рис. 74, если мысленно убрать дополнительный угольник 6, шкала угломера покажет $19^\circ 10'$, а угол, образованный линейками 1 и 5, определяется как угол $19^\circ 10' + 90^\circ = 109^\circ 10'$.

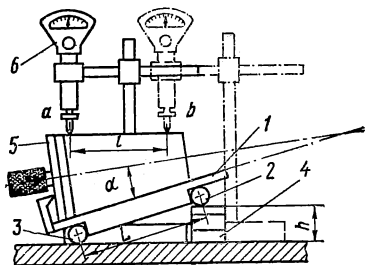


Рис. 76. Схема измерения угла конуса на синусной линейке

Находят применение также оптические угломеры, имеющие две линейки и корпус, в котором размещен стеклянный диск со шкалой, разделенной на градусы и минуты.

Отсчет производится после того, как положение угломера зафиксировано зажимным рычагом. Примеры измерения углов угломером с лимбом приведены на рис. 75.

Косвенные методы контроля конусов. Наиболее точными и широко применяемыми являются косвенные методы измерений, при которых измеряют не непосредственно углы конусов, а линейные размеры, геометрически связанные с углами.

После определения значения этих линейных размеров расчетом находят и значения углов.

Измерение с помощью синусной линейки. Синусные линейки, выпускаемые инструментальной промышленностью, делятся на три типа: тип I — без опорной плиты, тип II — с опорной плитой, тип III — с двумя опорными плитами и двойным наклоном.

Предметный столик 1 (рис. 76) синусной линейки имеет два ролика 2 и 3 с определенным расстоянием между ними L . Если под один из роликов подложить блок 4 из плоскопараллельных концевых мер размером h , то предметный столик наклонится на угол α и его можно определить по формуле

$$\sin \alpha = \frac{h}{L}.$$

При измерении угла конуса проверяемое изделие устанавливают на предметный столик, ориентируя его так, чтобы измеряемый угол находился в плоскости, перпендикулярной роликам синусной линейки (для этого используют боковые поверхности предметного столика).

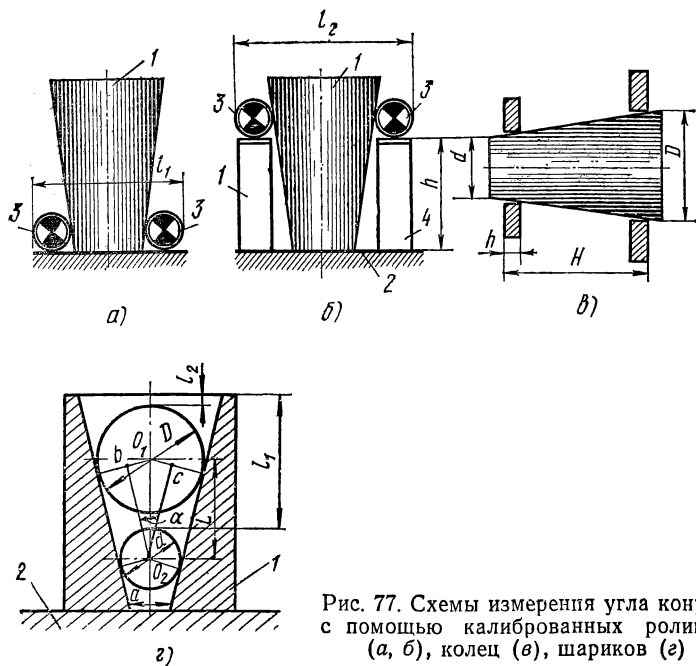


Рис. 77. Схемы измерения угла конуса с помощью калиброванных роликов (а, б), колец (в), шариков (г)

Установив изделие 5 на предметный столик 1, под ролик подкладывают блок из плоскопараллельных концевых мер 4. Размер блока определяют по формуле

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

где α — номинальное значение измеряемого угла.

При разности показаний Δl измерительной головки 6 в двух положениях на измеряемой длине l можно определить отклонения измеряемого угла ($\Delta \alpha$) от номинального значения по формуле

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta l}{l} 2 \cdot 10^5.$$

Действительную величину угла можно определить, подобрав такой блок плиток, при котором показания измерительной головки не будут отличаться на всей измеряемой длине. Синус действительной величины угла ($\sin \alpha$) определяется по приведенной выше формуле, а по синусу находят угол.

Измерение наружных конусов с помощью роликов. Этот косвенный метод измерения (рис. 77) угла конуса изделия 1 осуществляется при использовании плиты 2, двух роликов 3 одинакового размера (можно использовать ролики от роликовых подшипников), концевых мер 4 и микрометра с ценой деления 0,01 мм или рычажного с ценой деления 0,002 мм.

Сначала измеряют размер l_1 по диаметрам роликов 3 (рис. 77, а), затем под ролики подкладывают блоки из концевых мер 4 одинакового размера h и определяют размер l_2 (рис. 77, б). Зная размеры h , l_1 , l_2 , находят конусность по формуле

$$2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l_2 - l_1}{h}$$

или

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{l_2 - l_1}{2h},$$

а значение α узнают по таблице тригонометрических функций.

По такому же принципу измеряют конусность у вала с помощью двух калиброванных колец (рис. 77, в) с заранее известными диаметрами D и d и толщиной h . После надевания колец на конус вала измеряют размер H и определяют тангенс угла по формуле

$$2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{D - d}{H - h}.$$

Измерение внутренних конусов. Угол внутреннего конуса определяют с помощью двух шариков, диаметры которых заранее известны, и глубиномера (рис. 77, г).

Втулку 1 ставят на плиту 2, закладывают внутрь шарик малого диаметра d и измеряют при помощи глубиномера (микрометрического или индикаторного) размер l_1 , затем закладывают шарик большего диамет-

ра D и измеряют размер l_2 . При таком методе измерения конусность втулки определяют по формуле

$$2 \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{2(D-d)}{2(l_1-l_2)-(D-d)}.$$

Затем находят значение угла α по таблице тригонометрических функций.

§ 4. Контроль конусов калибрами

Контроль калибрами (рис. 78) основан на проверке отклонений базорасстояния по методу осевого перемещения калибра относительно проверяемой детали или на проверке по краске.

Калибрами для проверки наружных конусов служат втулки (рис. 78, а) или скобы (рис. 78, в), а для внутренних конусов — пробки (рис. 78, б), со стороны большого диаметра которых наносятся риски на расстоянии от торца калибра, равном допуску базорасстояния T_z .

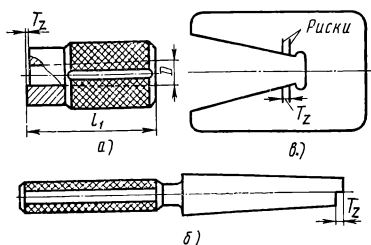


Рис. 78. Конусные калибры:
а — втулка, б — пробка, в — скоба

Торец проверяемых конических вала и втулки при сопряжении с калибром не должен выходить за пределы рисков или уступа на калибре. Если это условие нарушено, то угол конуса детали выходит из установленных пределов (допуска).

В практике применяют комплектный метод контроля конусности и отклонений от прямолинейности и круглости внутренних и наружных конусов калибрами с помощью краски. Например, на калибр-пробку наносят слой краски и, введя его в коническое отверстие, поворачивают на $3/4$ оборота и затем по отпечатку краски определяют правильность изготовления конуса втулки. Но этот метод контроля не показывает величины отклонений, а определяет лишь степень прилегания конических поверхностей (по следам краски). Надежность этого метода контроля зависит от квалификации и навыков контролера, вида и равномерности слоя краски, нанесенной на калибр.

Конусные калибры-втулки проверяют по контрольным калибрам-пробкам. Контрольные калибры изготовляют с повышенной точностью конусности и проверяют универсальными средствами.

Вопросы для повторения

1. Сколько степеней точности установлено для допусков на угловые размеры и почему допуск на угол уменьшается с увеличением длины меньшей стороны угла?

2. Назовите примеры применения конических соединений и их преимущества в сравнении с цилиндрическими соединениями.

3. Начертите конус и покажите основные параметры его.

4. Что называется базорасстоянием и в какой зависимости находится изменение его величины от допусков на диаметры конуса и конусности?

5. Как устроен угломер с нониусом и какие углы им можно измерять?

6. Расскажите о косвенных методах измерения угла наружного и внутреннего конусов.

7. Как осуществляется контроль наружных и внутренних конусов коническими калибрами?

Глава VII

ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

§ 1. Основные элементы метрической крепежной резьбы и допуски на них

В машиностроении применяют различные резьбовые соединения: цилиндрические, конические, трапецеидальные и др. Эти резьбы имеют ряд общих признаков, а так как наиболее распространенными являются цилиндрические крепежные резьбовые соединения с треугольным профилем, то применительно к ним и будут рассмотрены допуски, методы и средства контроля.

Профиль метрической цилиндрической резьбы (рис. 79, а) представляет собой равносторонний треугольник с углом при вершине α , равным 60° . Основными параметрами резьбы, общими для наружной резьбы (болта) и внутренней резьбы (гайки), являются: наружный диаметр d и D , внутренний диаметр d_1 и D_1 , средний диаметр d_2 , D_2 , шаг резьбы P , угол профиля α , угол между стороной витка и перпендикуляром к оси резь-

бы $\alpha/2$, теоретическая высота витка H , рабочая высота витка резьбы h . При измерении угла профиля и расчетах допусков учитывается угол $\alpha/2$, так как при нарезании резьбы ее профиль может быть завален на сторону так, что с правой стороны $\alpha/2$ будет больше или

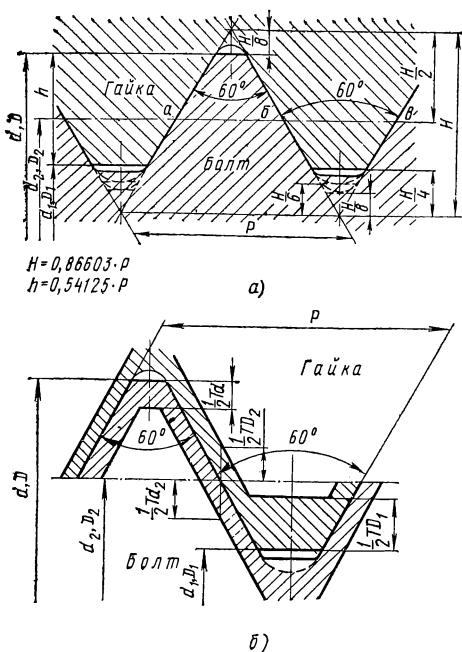


Рис. 79. Метрическая цилиндрическая резьба:
а — профиль резьбы, б — схема расположения полей допусков

меньше, чем $\alpha/2$ с левой стороны, а в целом весь угол профиля α может быть равен 60° .

Под средним диаметром понимают диаметр воображаемого, соосного с резьбой, цилиндра, который делит профиль резьбы так, что толщина витка, ограниченная на рис. 79, а буквами а—б, равна ширине впадины, ограниченной буквами б—в. Шаг резьбы — это расстояние вдоль оси резьбы между параллельными сторонами двух рядом лежащих витков.

Единой системой допусков и посадок СЭВ для метри-

ческой резьбы с размерами от 0,25 до 600 мм предусмотрены три стандарта: СТ СЭВ 180—75 определяет профиль резьбы; СТ СЭВ 181—75 — диаметры и шаги; СТ СЭВ 182—75 — основные размеры. Предельные отклонения и допуски резьбовых соединений с зазорами устанавливают ГОСТ 16093—70, который составлен на основе рекомендаций ИСО и введен в действие в СССР с 1974 г., и СТ СЭВ 640—77 со сроком внедрения 1/1.81 г.

Значения диаметров резьбы разбиты на 3 ряда (1, 2 и 3-й). При выборе диаметров резьбы предпочтительным является первый ряд. Второй ряд диаметров резьбы берется, если диаметры 1-го ряда не удовлетворяют требованиям конструктора; в последнюю очередь диаметры берутся из 3-го ряда. По числовой величине шага резьбы для диаметров 1—64 мм делятся на две группы: с крупным шагом и мелкие, а резьбы диаметром свыше 64 мм (до 600 мм) имеют только мелкие шаги.

Допуски для цилиндрической крепежной резьбы ($d=1 \div 600$ мм) установлены на следующие параметры: на средний диаметр болта и гайки в виде величин T_{d_2} и T_{D_2} (поле допуска для гайки расположено в плюс, а для болта — в минус от номинального размера); на наружный диаметр болта d и на внутренний диаметр гайки D_1 .

Допуски на наружный диаметр гайки и внутренний диаметр болта не установлены. Технология нарезания резьбы и размеры резьбообразующих инструментов (метчиков, плашек и др.) гарантируют, что наружный диаметр резьбы гайки не будет меньше теоретического, а внутренний диаметр резьбы болта — больше теоретического.

На шаг резьбы и угол профиля в отдельности допуски не установлены, а возможные отклонения по ним допускаются за счет изменения среднего диаметра резьбы в пределах его допуска. Такая компенсация погрешностей шага и угла за счет допуска $T_{d_2 D_2}$ возможна потому, что шаг и угол геометрически связаны со средним диаметром.

Практика показывает, что если болт или гайка имеют отклонения по шагу или отклонения по углу профиля, то можно добиться свинчивания их путем уменьшения среднего диаметра у болта или увеличения среднего диаметра у гайки в процессе обработки деталей. Поэтому стандартный допуск на средний диаметр $T_{d_2 D_2}$ является как бы суммой трех слагаемых в виде

$$T_{d_2 D_2} = T'_{d_2 D_2} + 1,732\delta P + 0,36P\delta\alpha/2,$$

где T'_{d,D_2} — собственно допуск на средний диаметр; он будет равен полному табличному допуску, если при нарезании резьбы болта или гайки шаг и угол будут идеальными, т. е. без отклонений; $1,732\delta P = fP$ — величина компенсации погрешности шага за счет допуска на средний диаметр, где δP и является погрешностью шага; $0,36P\delta\alpha/2 = f\alpha$ — величина компенсации погрешности половины угла профиля за счет допуска на средний диаметр;

где $\delta\alpha/2$ — погрешность половины угла профиля в минутах; P — шаг в мм, а величина компенсации получается в микрометрах. В этом случае $\delta\alpha/2$ подсчитывается как среднее арифметическое абсолютных величин отклонений обеих половин угла резьбы в минутах от $\alpha/2 = 30^\circ$,

$$\delta\alpha/2 = \frac{|\delta\alpha/2|_{\text{пр}} + |\delta\alpha/2|_{\text{лев}}}{2}.$$

§ 2. Посадки резьб с гарантированными зазорами

До 1974 г. по допускам на крепежную резьбу с зазорами действовали два стандарта: ГОСТ 9253—59 — допуски на резьбу с посадкой типа скольжения для размеров от 1 до 600 мм и ГОСТ 10191—62 — допуски на резьбы с гарантированными зазорами при размерах от 1 до 180 мм.

В 1974 г. взамен указанных двух стандартов введен ГОСТ 16093—70, который составлен на основе Международного стандарта, а в 1980 г. его заменит СТ СЭВ 640—77.

Стандарты охватывают резьбовые соединения с размерами от 1 до 600 мм и предусматривают возможность образования большого количества посадок с разными зазорами (рис. 80, а, б). Гарантированные зазоры устанавливаются: для более легкого свинчивания резьбы, когда на поверхность резьбы наносится антикоррозионное покрытие с разной толщиной слоя, когда резьбовые детали работают при высокой температуре. В этом случае гарантированный зазор по профилю резьбы предохраняет от возможного спекания поверхностей болта и гайки, которое приводит к невозможности разборки соединения. Новые стандарты дают возможность устанавливать разные допуски по диаметрам резьбы, чтобы

не удорожать обработку резьбы, когда в этом нет необходимости. Расположение полей допусков резьбы относительно номинального профиля определяется основным отклонением — верхним для болтов и нижним — для гаек. Ряды отклонений обозначаются буквами латин-

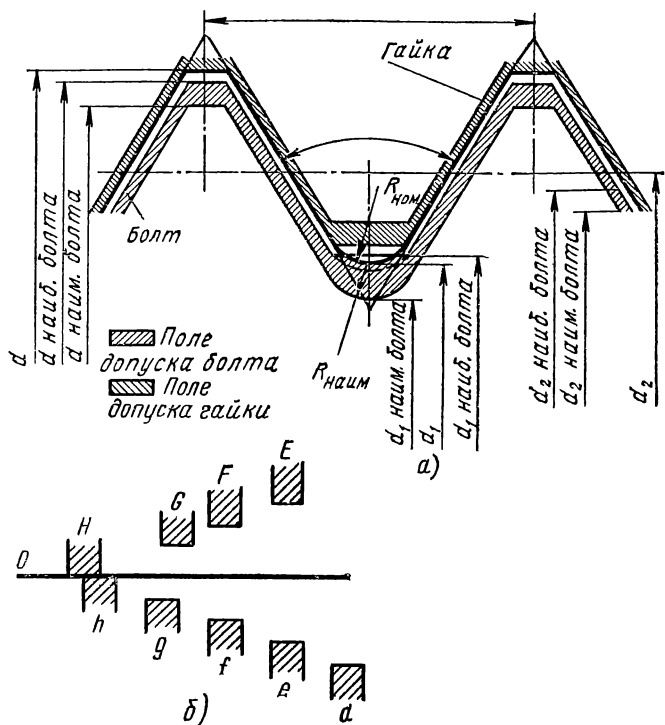


Рис. 80. Схема расположения полей допусков болта и гайки:
а — по всему профилю резьбы, б — по $d(D)$; $d_2(D_2)$ и $d_1(D_1)$

ского алфавита: прописными для гаек — H , G , F и E и строчными для болтов — h , g , f , e , d .

Схема расположения отклонений по $d(D)$, $d_2(D_2)$ и $d_1(D_1)$ показана на рис. 80, б.

Допуски на диаметры предусмотрены по СТ СЭВ 640—77 степенями точности: у гайки по среднему диаметру (4, 5, 6, 7, 8 и 9-я) и по внутреннему (4, 5, 6, 7 и 8-я). Для болта установлены следующие степени точ-

ности: по среднему диаметру 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10-я, а по наружному — 4, 6 и 8-я.

Примеры обозначений в чертежах. М12-6Н означает: резьба гайки с крупным шагом, степень точности для среднего и внутреннего диаметров — 6, отклонение — Н.

М12-6g — резьба болта с крупным шагом, 6-я степень точности по среднему и наружному диаметру, отклонение g; М12-6g-R — означает, что резьба болта с обязательным закруглением впадины; $M12 \frac{6H}{6g}$ — обозначение в сборочном чертеже при крупном шаге; $M12 \times 1 \frac{6H}{6g}$ — обозначение в сборочном чертеже при мелком шаге 1 мм.

Если конструктор имеет возможность задать допуски по диаметрам из разных степеней точности (у гайки — по среднему диаметру и внутреннему), то в этом случае на первом месте всегда ставится степень точности по среднему диаметру. Примеры обозначений: М12-5Н6Н — резьба гайки с отклонением Н, допуск по среднему диаметру — по 5-й степени, а по внутреннему диаметру — по 6-й степени.

М12-7h6h — резьба болта с отклонением h, допуск по среднему диаметру — 7-й степени точности, а по наружному диаметру — по 6-й. Допуски среднего диаметра резьбы являются суммарными и ограничивают сумму отклонений собственно среднего диаметра, шага и половины угла профиля резьбы. Кроме степеней точности, стандарт предусматривает еще возможность производственной оценки резьбы одним из трех классов точности, которые имеют наименование точный, средний и грубый. В табл. 27 показаны поля допусков болтов и гаек с отношением их к соответствующим классам точности при нормальной длине свинчивания. Поля допусков, заключенные в рамки, являются предпочтительными. Применение полей допусков, заключенных в скобки, следует по возможности ограничить. Допускаются любые сочетания полей допусков резьбы и гаек. Предпочтительно следует сочетать поля допусков одного класса точности. Величины отклонений по диаметрам для резьб с шагом от 1 мм по предпочтительным степеням точности приведены в приложении VI, они представляются для решения различных примеров и справок.

27. Поля допусков болтов и гаек по классам точности резьбы

Классы точности резьбы	Поля допусков резьбы	
	наружной (болтов)	внутренней (гаек)
Точный	$4h, 4g$	$4H5H, 5H$
Средний	$6h, \boxed{6g}, 6f, 6e, 6d$	$\boxed{6H}, 6G$
Грубый	$(8h), 8g$	$7H, 7G$

Стандарт предусматривает подразделение резьб по длине свинчивания на три группы: короткие S , нормальные N и длинные L . Значения длин резьб зависят от диаметра и шага, их величины приводятся в особой таблице стандарта. К группе S относятся длины свинчивания до $2,24 Pd^{0,2}$ мм, к группе N — длины свыше $2,2 Pd^{0,2}$ мм до $6,7 Pd^{0,2}$ мм и к группе L — длины свыше $6,7 Pd^{0,2}$ мм. У длинной резьбы в обозначении показывается длина свинчивания в мм. Например, $M12-7g-6g-30$. Допускается резьба с длиной свинчивания по L оценивать более высоким классом точности. Так, например, если в табл. 27 резьба гайки $7H$ и $7G$ отнесена к грубому классу точности, то длинные резьбы с этими степенями точности относятся к среднему классу. Это объясняется тем, что при образовании резьбы на большой длине увеличивается вероятность появления различных причин, вызывающих отклонения по диаметрам, шагу, углу профиля.

§ 3. Посадки резьб с гарантированными натягами и переходные

Посадки резьбы с натягами (ГОСТ 4608—65) применяются для более плотного присоединения поверхностей деталей при помощи резьбовых шпилек. Один конец шпильки ввинчивается в резьбовое отверстие корпуса машины или прибора с натягом по среднему диаметру, а на другой конец шпильки навертывается обычная гайка с затяжкой, чтобы плотно присоединить поверхности обеих половин разъемного корпуса или поверхности корпуса и крышки или иной другой соединительной детали. Стандарт распространяется на резьбы с шагами 0,8—3 мм и диаметрами 5—48 мм и предусматривает четыре вида тугих посадок.

Обозначения посадок и их назначения представляются в следующем виде: $\frac{A_0}{T_0}$ — для шпилек, сопрягае-

мых с гнездами из чугуна и магниевых сплавов; $\frac{A_0 2}{T_0 2}$ — для шпилек, сопрягаемых с гнездами из алюминиевых и магниевых сплавов; $\frac{A_0 3}{T_0 3}$ — для шпилек, сопрягаемых с гнездами из стали и титановых сплавов, и $\frac{A_1 2}{T_1 2}$ — для шпилек, сопрягаемых с гнездами из чугуна. Буква *A* обозначает внутреннюю резьбу (гнезда), буква *T* — резьбу шпильки, цифровой индекс (0 или 1) — класс точности резьбы, а последняя цифра (2 или 3) показывает, на сколько групп сортируется резьба после обработки для селективной сборки. Применение последних трех посадок предусмотрено с селективной сборкой при сортировке резьбы по собственно среднему диаметру.

С 1981 г. взамен ГОСТ 4608—65 вводится СТ СЭВ 306—76.

СТ СЭВ 306—76 представляет собой переработку ГОСТ 4608—65 с сохранением основных принципиальных положений. Он распространяется на резьбы с шагами от 0,8 до 3 мм и номинальными диаметрами от 5 до 45 мм. Длины свинчивания должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 28.

Расположение полей допусков наружной и внутренней резьбы соответствует указанному на рис. 81, а, б.

Для повышения прочности резьбового соединения форма впадины наружной резьбы (шпильки) должна быть закругленной. Для резьб с шагом $P \leq 1$ мм допускается плоскосрезанная форма впадины.

Посадки по СТ СЭВ 306—76 и их соответствие посадкам по ГОСТ 4608—65 показаны в табл. 29.

В СТ СЭВ 306—76 по сравнению с ГОСТ 4607—65 наибольшие натяги ($N_{нб}$) увеличены на 8—13 %, а наименьшие натяги ($N_{нм}$) или уменьшены, или увеличены; допуски по среднему диаметру увеличены в резьбовых отверстиях на 18 %, а у шпилек — на 12 %.

28. Длины свинчивания для резьб при посадках с гарантированными натягами

Материал детали с внутренней резьбой (гнезда)	Длина свинчивания
Сталь	От 1d до 1,25d
Чугун	» 1,25d » 1,5d
Алюминиевые и магниевые сплавы	» 1,5d » 2d

Экспериментальные данные показывают, что увеличение $N_{нб}$ не создает перенапряжения в материале сопрягаемых деталей, а уменьшение $N_{нм}$ не должно вызывать опасений, так как вероятность получения $N_{нб}$ или $N_{нм}$ небольшая.

Для резьбовых деталей, подвергаемых сортировке по

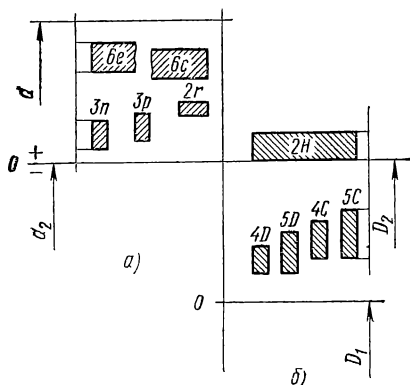


Рис. 81. Схема расположения полей допусков для посадок резьб с натягами:

а — для наружной резьбы, *б* — для внутренней резьбы

среднему диаметру на группы, кроме d , d_2 ; D_1 и D_2 , дополнительно нормируются отклонения шага, угла профиля и отклонения от геометрической формы. Допуски среднего диаметра резьбы деталей, не сортируемых на группы, являются суммарными.

Обозначение полей допусков и посадок соответствует СТ СЭВ 640—77. Поле допуска наружного диаметра шпильки в обозначении не указывается, а имеется в виду, что оно будет соответствовать: $6e$ при $P \leq 1,25$ и $6s$ при $P > 1,25$.

Например: $M12 \times 1 - \frac{2H5C(2)}{3p(2)}$.

Переходные резьбовые посадки. С 1/1.81 г. в СССР вводится в действие СТ СЭВ 305—76, который устанавливает диаметры (от 5 до 45 мм), шаги (от 0,8 до 4,5 мм), допуски и предельные отклонения для переходных резьбовых посадок.

Способ соединения переходной посадки более экономичен по сравнению с посадками по СТ СЭВ 306—76. В СССР ряд отраслей промышленности (автомобильная, тракторная и дизелестроения) применяют резьбы с переходными посадками на основе стандартов предприятий или отрасли. Переходная посадка не гарантирует натяга соединения, а неподвижность достигается применением дополнительных элементов заклинивания. Рекомендуются три способа заклинивания: затяжка до конического сбегса резьбы шпильки (рис. 82, *а*), затяжка шпильки до

29. Соответствие посадок СТ СЭВ 306—76 посадкам ГОСТ 4608—65

Материал гнезда	Посадки		
	по СТ СЭВ 306—76		по ГОСТ 4608—65
	$P \leq 1,25$	$P > 1,25$	для всех шагов
Чугун и алюминиевые сплавы	$\frac{2H5D}{2r}$	$\frac{2H5C}{2r}$	$\frac{A_0}{T_0}$
Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$	$\frac{2H5C(2)}{3p(2)}$	$\frac{A_0 2}{T_0 2} \quad \frac{A_1 2}{T_1 2}$
Сталь, высокопрочные и титановые сплавы	$\frac{2H4D(3)}{3n(3)}$	$\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$	$\frac{A_0 3}{T_0 3}$

Примечание. В скобках указано число сортиментных групп.

упора торца специального плоского бурта (рис. 82, б), затяжка до упора торца шпильки в дно резьбового отверстия (по цилиндрической цапфе) (рис. 82, в).

Из трех способов дополнительного заклинивания предпочтительным является затяжка до конического сбega резьбы шпильки. Такой вид заклинивания соединения пригоден для сквозных и глухих

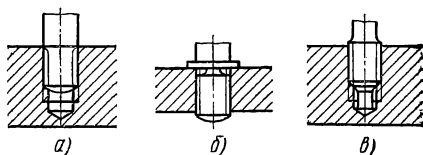


Рис. 82. Способы заклинивания:

а — по коническому сбегу резьбы, б — по плоскому бурту, в — по цилиндрической цапфе

отверстий, для любых материалов корпусов и наиболее экономичен в изготовлении. Для обеспечения прочности соединения, особенно при вибрациях, знакопеременных нагрузках требуется высококачественное выполнение сбega резьбы шпильки и обеспечение контроля исполнения заданных параметров сбega.

В стандарте рекомендуются поля допусков и их сочетания в посадках (табл. 30). Расположение полей допусков наружной и внутренней резьбы показано на рис. 83, а, б.

Поля допусков jk ; j и jh шпилек обеспечивают натяг в соединении с очень малой вероятностью (примерно 1—10 %) и, следовательно, неподвижность соединений должна обеспечиваться применением дополнительных элементов заклинивания.

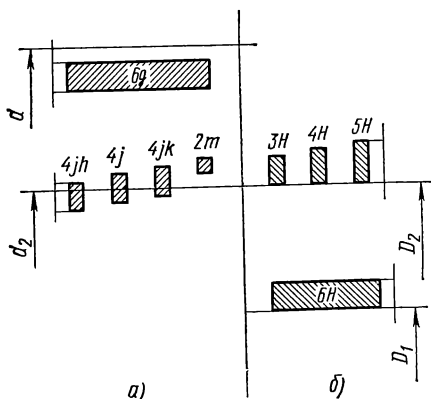


Рис. 83. Расположения полей допусков для образования переходных посадок: а — для наружной резьбы, б — для внутренней резьбы

Для переходных резьбовых посадок допусками нормируются: наружный и средний диаметр шпилек; внутренний и средний диаметры гнезда: предельные отклонения шага и угла наклона боковой стороны профиля; отклонения формы. Допуски среднего диаметра наружной и внутренней резьбы являются суммарными.

Обозначение полей допусков и посадок на чертежах соответствует СТ СЭВ 640—77.

Поле допуска наружного диаметра шпильки в обозначении не указывается: оно соответствует $6g$. Например: $M12 \times 1 - 4H6H/4j$.

§ 4. Контроль резьбы калибрами

Взаимозаменяемость деталей с резьбой обеспечивается комплексными методами контроля — резьбовыми калибрами. Резьбовые пробки для контроля гаек и резьбовые кольца для контроля болтов являются прототипами сопрягаемых деталей; принятые по ним резьбовые детали обеспечивают полную взаимозаменяемость.

Рабочие калибры для гаек (внутренней резьбы). Рабочими калибрами для контроля гаек являются резьбовые пробки: проходная ПР и непроходная НЕ (рис. 84, а). Ввинчиваемость пробки ПР в гайку показывает, что средний диаметр не выходит за установленный наименьший предельный размер, имеющиеся ошибки шага и угла профиля резьбы гайки компенсированы соответствующим увеличением среднего диаметра,

30. Поля допусков и их сочетания для переходных резьбовых посадок

Номинальный диаметр резьбы, мм	Материал гнезда	Поля допусков		Посадки
		шпильки	гнезда	
От 5 до 16	Сталь	$4jk; 2m$	$4H6H; 3H6H$	$\frac{4H6H}{4jk};$ $\frac{3H6H}{2m}$
	Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$4jk; 2m$	$5H6H; 3H6H$	$\frac{5H6H}{4jk};$ $\frac{3H6H}{2m}$
От 18 до 30	Сталь	$4j; 2m$	$4H6H; 3H6H$	$\frac{4H6H}{4j};$ $\frac{3H6H}{2m}$
	Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$4j; 2m$	$5H6H; 3H6H$	$\frac{5H6H}{4j};$ $\frac{3H6H}{2m}$
От 33 до 45	Сталь, чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	$4jh$	$5H6H$	$\frac{5H6H}{4jh}$

наружный диаметр гайки не меньше наружного диаметра болта.

Следовательно, проходная пробка контролирует приведенный средний диаметр D_2 .

Приведенным средним диаметром называется значение среднего диаметра резьбы, увеличенное для болта и уменьшенное для гайки на суммарную диа-

метральную компенсацию отклонений шага и угла наклона боковой стороны профиля, т. е. приведенный средний диаметр для наружной резьбы (болта) $d_{2\text{ пр}} = d_{2\text{ действ}} + (fP + f\alpha)$, а для внутренней резьбы (гайки) $D_{2\text{ пр}} = D_{2\text{ действ}} - (fP + f\alpha)$.

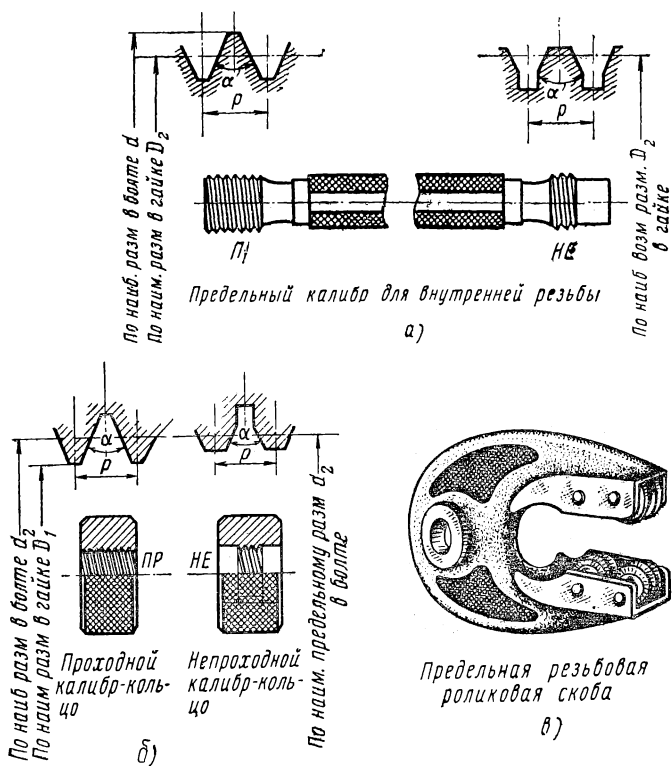


Рис. 84. Рабочие резьбовые калибры:
а — пробки, б — кольца, в — скобы

Если непроходная пробка НЕ не ввинчивается, то это означает, что средний диаметр гайки не больше установленного наибольшего предельного размера.

Для уменьшения влияния ошибок шага и угла профиля на результаты контроля непроходные калибры имеют небольшое число полных витков ($2\frac{1}{2}$ —3) и малую измерительную длину сторон профиля с притупле-

нием по наружному диаметру и канавкой по внутреннему диаметру (см. рис. 84, а). Такой профиль резьбы непроходной пробки приспособлен к проверке только среднего диаметра и называется укороченным.

Пробка НЕ, как правило, не должна ввинчиваться в гайку, но при нормальной длине резьбы допускается ввинчивание до двух оборотов с обоих торцов детали, а при коротких резьбах допускается ввинчивание до двух оборотов с одного торца детали или в сумме с двух сторон.

На калибры для гаек установлены допуски на все параметры резьбы (d ; d_1 ; d_2 ; P и $\delta^{a/2}$). Калибры-пробки по различным параметрам резьбы проверяют универсальными измерительными средствами.

Рабочие и контрольные калибры для болтов (наружной резьбы). Рабочими калибрами для проверки болтов являются резьбовые проходные и непроходные кольца, а также резьбовые скобы (рис. 84, б, в). Для контроля самих рабочих калибров предусмотрены контрольные калибры в виде резьбовых пробок, которые обозначаются КПР — ПР и КПР — НЕ, У — ПР, У — НЕ, К — И, КИ — НЕ, КНЕ — ПР и КНЕ — НЕ.

1. Жесткие рабочие проходные кольца проверяются контркалибрами — проходной пробкой КПР — ПР, которая должна свинчиваться, и непроходной пробкой КПР — НЕ, которая не должна свинчиваться.

2. Новые жесткие рабочие непроходные кольца (НЕ) проверяют контркалибром — проходной пробкой КНЕ — ПР и непроходной КНЕ — НЕ.

3. Регулируемые рабочие резьбовые кольца устанавливают по контркалибрам в виде установочных пробок: У — ПР для проходного резьбового кольца и У — НЕ для непроходного кольца.

4. Износ рабочих колец и скоб проверяют контркалибрами: К — И — проходных и КИ — НЕ — непроходных.

5. Регулируемые рабочие скобы устанавливают по контркалибрам КПР — ПР и КНЕ — ПР.

Несвинчиваемые контркалибры КПР — НЕ, КНЕ — НЕ, КИ и КИ — НЕ допускается частично свинчивать, но не более чем на один оборот с каждой стороны кольца.

Схема расположения полей допусков по среднему

диаметру на болт, гайку и полей допусков всех калибров приведена на рис. 85. На схеме поля допусков на рабочие калибры (кольца или скобы) показаны штриховой линией, так как эти допуски предусмотрены стандартом не для непосредственного измерения среднего диаметра калибров, а только для установления по ним полей допусков контрольных калибров — пробок.

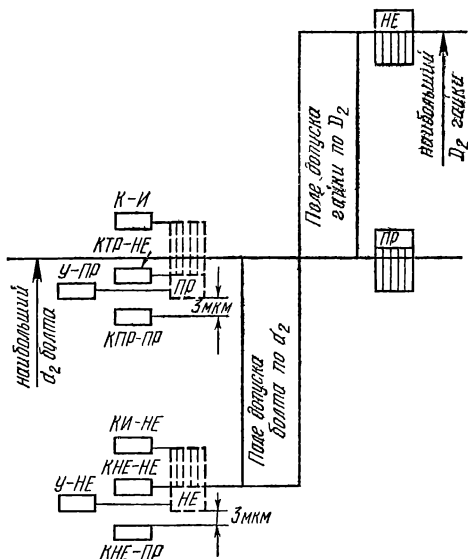


Рис. 85. Схема расположения полей допусков калибров по среднему диаметру

Из схемы видно, что номинальным размером каждого рабочего и контрольного калибра является соответствующий предельный размер болта и гайки, и отклонения калибра даются от этого размера. Для проверки наружного диаметра болта используют предельные гладкие скобы, а для внутреннего диаметра гайки — предельные гладкие пробки.

Механизация и автоматизация контроля резьбы калибрами. Резьбовые детали в виде гаек, болтов, шпилек и т. д. изготавливаются обычно большими партиями, поэтому ручной способ контроля качества при помощи калибров является весьма трудоемким и утомительным. Так, для проверки годности резь-

бы болта резьбовым кольцом требуется не менее 30 с, а на процесс образования резьбы накаткой 1—2 с.

Для ускорения процесса контроля гаек, болтов, шпилек и винтов на заводах применяют различные приспособления, обеспечивающие механическое вращение резьбовых калибров — пробок для гаек или колец для болтов. В этом случае проверяемые детали (гайки, болты, шпильки и др.) вручную подводят к вращающимся калибрам.

В других усовершенствованных конструкциях на торце шпинделя крепят резиновые подушки, к которым прижимается резьбовое кольцо с предварительно ввинченным в него на 1—1½ витка болтом или гайка с предварительно ввинченной на 1—1½ витка резьбы пробкой.

Отечественная промышленность имеет опыт и по полной автоматизации процесса контроля резьбовых деталей. Отечественные автоматы для контроля резьбы гаек диаметром от 5 до 10 мм демонстрировались на ВДНХ и за границей. Гайки насыпаются в бункер и подаются на измерительную позицию автоматически. Проверка годности резьбы на свинчиваемость и неперпендикулярность оси резьбы к торцам гайки, а также смещение оси резьбы осуществляется комбинированным калибром, который состоит из проходной гладкой пробки для контроля внутреннего диаметра гайки и последующей за ней резьбовой проходной пробкой. Реверсивный механизм автомата приводится в действие электродвигателем через ременную передачу. Схема автомата для контроля наружной резьбы болтов и винтов показана на рис. 86.

Резьбовые детали 1 из бункера щелевого типа поштучно подаются на измерительную позицию и прокатываются между двумя планками 2 и 3, на которых нанесен профиль резьбы. Планка 2 перемещается в

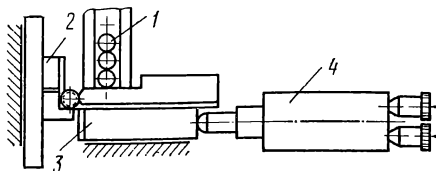


Рис. 86. Схема автомата для контроля болтов и винтов

вертикальном направлении, а планка 3 перемещается в горизонтальном направлении в зависимости от размера среднего диаметра резьбы контролируемой детали. С другого конца планка 3 контактирует с измерительным на-

конечником датчика 4. Перед началом контроля деталей положение планки 3 и настройку датчика производят по двум образцовым деталям, которые имеют предельные значения размеров. Если размер проверяемой детали вышел из предела установленных размеров, то планка 3 воздействует на электроконтактный датчик 4, который передаст импульс на электронное реле, и деталь сбросится в ящик брака. Производительность автомата 1500 деталей в час. Автоматы снабжены автоматически-ми счетчиками годных деталей.

§ 5. Средства контроля отдельных параметров резьбы

Контроль наружной резьбы. Для измерения отдельных параметров резьбы применяются: резьбовые микрометры со вставками для измерения собственно среднего диаметра резьб d_2 , с пределами измерений 0—25 мм, 25—50 мм и так далее (до 350 мм) через

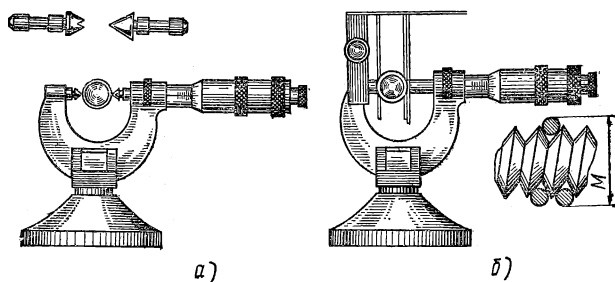


Рис. 87. Измерение среднего диаметра:

а — резьбовым микрометром, *б* — способом трех калиброванных проволок

25 мм; проволоки и ролики для косвенного измерения среднего диаметра резьбы; резьбовые скобы с отсчетным устройством для контроля наружной резьбы диаметром 10—30 мм; шагомеры и индикаторные приборы для контроля наружных резьб с шагом от 0,4 до 6 мм.

Распространенными способами определения среднего диаметра являются измерение его резьбовым микрометром со вставкой и измерение с помощью трех калиброванных проволок (рис. 87, *а*, *б*). С одной стороны профиля резьбы закладывают одну калиброванную про-

волочку, а с другой стороны — две проволоочки, диаметры которых заранее известны. Затем измеряют размер M (по наружным диаметрам проволочек) рычажным микрометром или более точным инструментом.

Этот способ измерения является косвенным. Измерив размер M и зная диаметры проволочек d , можно подсчитать d_2 :

$$d_2 = M - 3d + 0,866P.$$

Если диаметры калиброванных проволочек точно соответствуют размерам, предусмотренным в специальном стандарте, то средний диаметр метрической резьбы определяют по более простой формуле

$$d_2 = M - 0,866P.$$

На производстве расчеты d_2 по приведенным формулам сделаны заранее и составлены специальные таблицы. Зная размер M , шаг резьбы и диаметр проволочек, по таблице можно найти и значение среднего диаметра d_2 .

Для измерения внутреннего диаметра наружной резьбы, шага и половины угла профиля применяют инструментальные микроскопы усовершенствованной малой модели ММИ и большой модели БМИ, дополнительно оснащенной проекционным и фотоприспособлением, а также универсальные микроскопы УИМ21, УИМ23 и УИМ24.

Эти микроскопы относятся к группе оптико-механических приборов; на них можно в лабораториях и цехах измерять не только резьбы, но и линейные размеры в прямоугольных координатах, угловые размеры у деталей и у режущих и измерительных инструментов и у шаблонов (сложного профиля).

Инструментальный микроскоп ММИ (рис. 88) состоит из следующих основных частей:

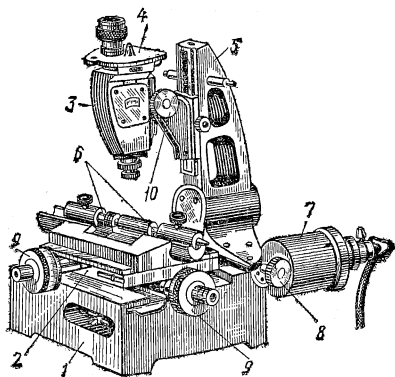


Рис. 88. Инструментальный микроскоп

основания 1, стола 2, тубуса 3, съемной окулярной головки 4, колонки 5, центров 6 и осветительного устройства 7.

Колонка 5 может отклоняться от вертикального положения в направлении, параллельном линии центров 1, в обе стороны на угол 10° при помощи двух винтов 8 (второй не виден, так как расположен с другой стороны). Величина угла наклона отсчитывается по шкалам, нанесенным на втулках винтов 8; цена деления шкалы 1° .

При помощи микрометрических винтов 9 с ценой деления 0,005 мм стол 2 можно перемещать в продольном и поперечном направлениях. Погрешности измерений: $\pm 0,005$ мм при измерении шага P и диаметров (d ; d_1 ; d_2); $\pm \left(3 + \frac{7}{P}\right)'$ при измерении половины угла профиля ($\alpha/2$), если шаг $P \leq 0,5$ мм; $\pm \left(3 + \frac{4}{S}\right)'$, если $P > 0,5$ мм.

Цилиндрические детали устанавливают в центрах 6. Плоские детали для измерения устанавливают непосредственно на столе 2.

Для установки цилиндрических деталей, не имеющих центровых отверстий, используют призму. Детали крепят на столе линейками с прижимами. Тубус 3 перемещают по колонке 5 от руки, точную установку его осуществляют вращением ручки 10.

Контроль внутренней резьбы. Лабораторным способом измерения диаметров, шага и половины угла профиля внутренней резьбы является способ слепка. Во внутренней резьбе примерно на секторе в $\frac{1}{3}$ окружности при помощи легкоплавкого сплава снимают слепок с профиля резьбы и затем на микроскопе измеряют параметры резьбы. Но этот способ очень трудоемкий, сложный и недостаточно точный, поэтому им пользуются реже.

Для измерения параметров внутренней резьбы с шагом от 0,25 до 2 мм и средним диаметром от 18 до 98 мм используют специальный резьбовой микроскоп ИЗК-59, который выпускается в качестве приспособления к универсальным микроскопам.

Погрешности измерения не превышают по шагу $\pm 0,002$ мм, по половинам угла профиля $\pm 10'$ и по среднему диаметру $\pm 0,003$ мм.

Вопросы для повторения

1. Перечислите основные параметры цилиндрической резьбы и покажите их на эскизе.
2. На какие параметры резьбы болта и гайки установлены стандартные допуски?
3. Можно ли добиться свинчиваемости болта и гайки, имеющих отклонения по шагу и половине угла профиля, изменением собственно среднего диаметра резьбы?
4. Что понимается под приведенным средним диаметром резьбы?
5. Какие рабочие калибры применяют для контроля резьбы болта и гайки?
6. Какое различие имеется в конструкции резьбовой части калибров проходных и непроходных и с какой целью это различие установлено?
7. Почему необходимы контрольные резьбовые калибры? Приведите обозначения их.
8. При помощи каких измерительных средств можно измерить шаг, угол и диаметр у внутренней и наружной резьбы?
9. Каково назначение резьб с гарантированным зазором и с гарантированным натягом?
10. Приведите примеры обозначений полей допусков резьбы с гарантированным зазором.

Глава VIII

ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

§ 1. Допуски и посадки прямобоочных шлицевых соединений

Прямобоочные шлицевые соединения состоят из трех параметров: наружного диаметра D , внутреннего d и боковых сторон b . Точность центрирования, т. е. совпадение осей соединяемых деталей по шлицам вала и втулки, в основном обеспечивается точным изготовлением размеров по D или по d . Если за основной параметр для посадки принят D (рис. 89, а), то по d (рис. 89, б) допуски берутся из более грубого квалитета. Выбор того или иного способа центрирования зависит от требующейся точности центрирования, условий работы и технологических возможностей изготовления.

Наиболее экономичным, а следовательно, широко применяемым является центрирование по поверхности

31. Рекомендуемые посадки валов и втулок при различных способах центрирования

Центрирование по внутреннему диаметру

Посадки центрирующего диаметра d	Посадки по ширине e
$\frac{H6}{g5}; \frac{H6}{js5}; \frac{H7}{e8}; \frac{H7}{f7};$ $\frac{H7}{g6}; \frac{H7}{h6}; \frac{H7}{h6};$ $\frac{H7}{js6}; \frac{H7}{js7}; \frac{H7}{n6}; \frac{H8}{e8}$	$\frac{F8}{d8}; \frac{F8}{f7}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{h7}; \frac{F8}{h8}; \frac{F8}{h9};$ $\frac{F8}{js7}; \frac{H8}{h7}; \frac{H8}{h8}; \frac{H8}{js7}; \frac{D9}{d9}; \frac{D9}{e8};$ $\frac{D9}{f7}; \frac{D9}{f8}; \frac{D9}{f9}; \frac{D9}{h8}; \frac{D9}{h9}; \frac{D9}{js7};$ $\frac{D9}{k7}; \frac{F10}{d9}; \frac{F10}{e8}; \frac{F10}{f7}; \frac{F10}{f8}; \frac{F10}{f9};$ $\frac{F10}{h7}; \frac{F10}{h8}; \frac{F10}{h9}; \frac{F10}{js7}; \frac{F10}{k7}; \frac{F10}{d10}$

Центрирование по наружному диаметру

Посадки центрирующего диаметра D	Посадки по ширине b
$\frac{H8}{e8}; \frac{H8}{h7}; \frac{H7}{f7}; \frac{H7}{g6};$ $\frac{H7}{h6}; \frac{H7}{js6}; \frac{H7}{n6}$	$\frac{F8}{e8}; \frac{F8}{f7}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{h6}; \frac{F8}{h8}; \frac{F8}{js7};$ $\frac{D9}{d9}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{f7}; \frac{D9}{h8}; \frac{D9}{js7}; \frac{F10}{e9};$ $\frac{F10}{f7}; \frac{F10}{h9}; \frac{F10}{d10}$

Центрирование по боковым сторонам зубьев (посадки по ширине b)

$\frac{F8}{e8}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{js7}; \frac{D9}{d9}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{f8}; \frac{D9}{f9}; \frac{D9}{h8}; \frac{D9}{h9}; \frac{D9}{js7}; \frac{D9}{k7};$ $\frac{D10}{d10}; \frac{D10}{d8}; \frac{F10}{d9}; \frac{F10}{e8}; \frac{F10}{f8}; \frac{F10}{f9}; \frac{F10}{h8}; \frac{F10}{h9}; \frac{F10}{js7}; \frac{F10}{k7}; \frac{F10}{d9}$
--

диаметра D , так как высокую точность у шлицевого вала по D можно легко получить шлифованием, а шлицевые отверстия во втулке образуются протягиванием.

Центрирование по поверхности внутреннего диаметра d применяют в тех случаях, когда требуется особо высокая точность центрирования деталей или когда шлицевое отверстие по втулке нельзя обработать протягиванием вследствие высокой твердости или вязкости

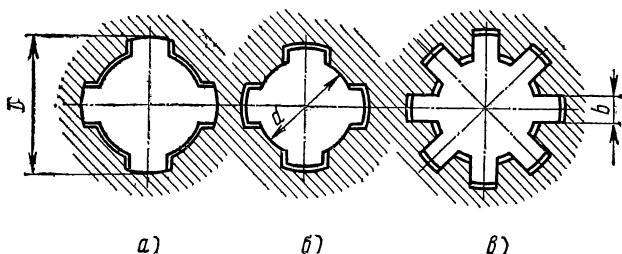


Рис. 89. Прямобоочные шлицевые соединения:

a — с центрированием по наружному диаметру, $б$ — по внутреннему диаметру, $в$ — по боковым сторонам

материала. Высокая точность центрирования по d обеспечивается шлифованием как шлицевого отверстия, так и вала. Шлицевое отверстие по диаметру d шлифуется на сложных и дорогих внутришлифовальных станках. Шлифование диаметров у шлицевого вала является еще более сложной операцией.

Точная посадка по боковым сторонам b (рис. 89, в) применяется редко, когда соединенные детали имеют знакопеременные нагрузки, т. е. когда по условиям работы вал с втулкой вращается то в одну сторону, то в другую (например, вращение вала заднего моста автомобиля). При таких условиях работы не допускаются большие зазоры по боковым сторонам шлиц.

Допуски на диаметры D и d соединяемых втулки и вала берутся из основной системы допусков для гладких цилиндрических соединений в системе отверстия по квалитетам СТ СЭВ 144—75: для валов — $IT5—IT10$, для отверстий по $IT6—IT10$. Допуски на другие размеры шлиц предусмотрены в СТ СЭВ 187—75. Рекомендуемые посадки валов и втулок при различных способах центрирования приведены в табл. 31.

Обозначение шлицевых соединений валов и втулок должны содержать: букву, обозначающую поверхность центрирования; число зубьев и номинальные размеры d , D и b соединения вала и втулки; обозначения полей допусков или посадок диаметров, а также размера b , помещенные после соответствующих размеров.

Допускается не указывать в обозначении допуски нецентрирующих диаметров, которые при центрировании по D или b всегда берутся по $H11$ для втулки, а при центрировании по d или b по $a11$ для вала и $H12$ для втулки.

Примеры обозначения прямобочных шлицевых соединений и допусков на сборочных и рабочих чертежах.

Если на сборочном чертеже стоит обозначение $d — 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{d11} \times 7 \frac{D9}{f8}$, то оно показывает, что центрирование осуществляется по внутреннему диаметру d ; количество шлиц 8; внутренний диаметр 36 мм; наружный диаметр 40 мм; ширина зуба 7 мм; посадка по диаметру центрирования $\frac{H7}{e8}$ и по размеру $b \frac{D9}{f8}$.

В этом случае на рабочем чертеже втулки с шлицевым отверстием будет обозначение $d — 8 \times 36 H7 \times 40 H12 \times 7 D9$, а на рабочем чертеже вала $d — 8 \times 36 e8 \times 40 a11 \times 7 f8$.

В таком же порядке расшифровываются на сборочном чертеже обозначения шлицевого сопряжения при центрировании по D , например:

$$D = 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9}$$

и по боковым сторонам b

$$b = 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{d11} \times 7 \frac{D9}{h8}.$$

§ 2. Допуски и посадки эвольвентных шлицевых соединений

Соединения, показанные на рис. 90, представляют собой зубчатую передачу, у которой вал сделан с наружными, а втулка с внутренними зубьями и зацепление происходит по всем зубьям одновременно.

Эвольвентные шлицевые соединения имеют ряд пре-

имуществ в сравнении с прямобочными: более равнопрочны, так как толщина основания у них больше толщины головки; имеют меньшую концентрацию напряжений у основания зуба за счет увеличения радиуса по впадине; обеспечивают хорошее центрирование, так как втулки самоустанавливаются по валу под нагрузкой.

Кроме того, эвольвентные шлицы сравнительно легко обрабатывать по принципу обработки зубчатых колес.

Основные параметры эвольвентных шлицевых соединений стандартизованы. Центрирование чаще всего осуществляется по эвольвентным профилям зубьев и по наружному диаметру D .

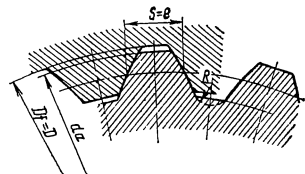


Рис. 90. Эвольвентные шлицевые соединения

Устанавливаются два вида допусков ширины впадины втулки (e) и толщины зуба вала (S): $T_e(T_S)$ — допуск собственно ширины впадины втулки (толщины зуба вала), T — суммарный допуск, включающий отклонение собственно ширины впадины (толщины зуба) и отклонение формы и расположения элементов профиля впадины (зуба), контролируемое комплексным калибром.

Для ширины впадины втулки установлены 7, 9 и 11-я степени точности и основное отклонение H , а для толщины зуба — 7, 8, 9, 10 и 11-я степени точности и основные отклонения a ; c ; d ; f ; g ; h ; k ; n ; p ; r . Расположение полей допусков ширины впадины втулки показано на рис. 91, a , а толщины зуба вала — на рис. 91, b .

Допуски и основные отклонения для диаметров окружности впадины втулки назначаются по $H7$ и $H8$, а окружности вершин зубьев вала — по $n6$, $js6$, $h6$, $g6$, $f7$ (СТ СЭВ 144—75).

Условные обозначения. Обозначения шлицевых соединений, валов и втулок на сборочных и рабочих чертежах должны содержать: номинальный диаметр соединения D ; модуль m ; обозначение посадки соединения (полей допусков вала и втулки), помещаемое после размеров центрирующих элементов, номер стандарта.

Пример обозначения: $50 \times 2 \times 9H/9g$ СТ СЭВ 259—76 — номинальный диаметр соединения $D=50$ мм, модуль $m=2$ мм, центрирование по боковым сторонам зубьев, с посадкой по боковым поверхностям зубьев

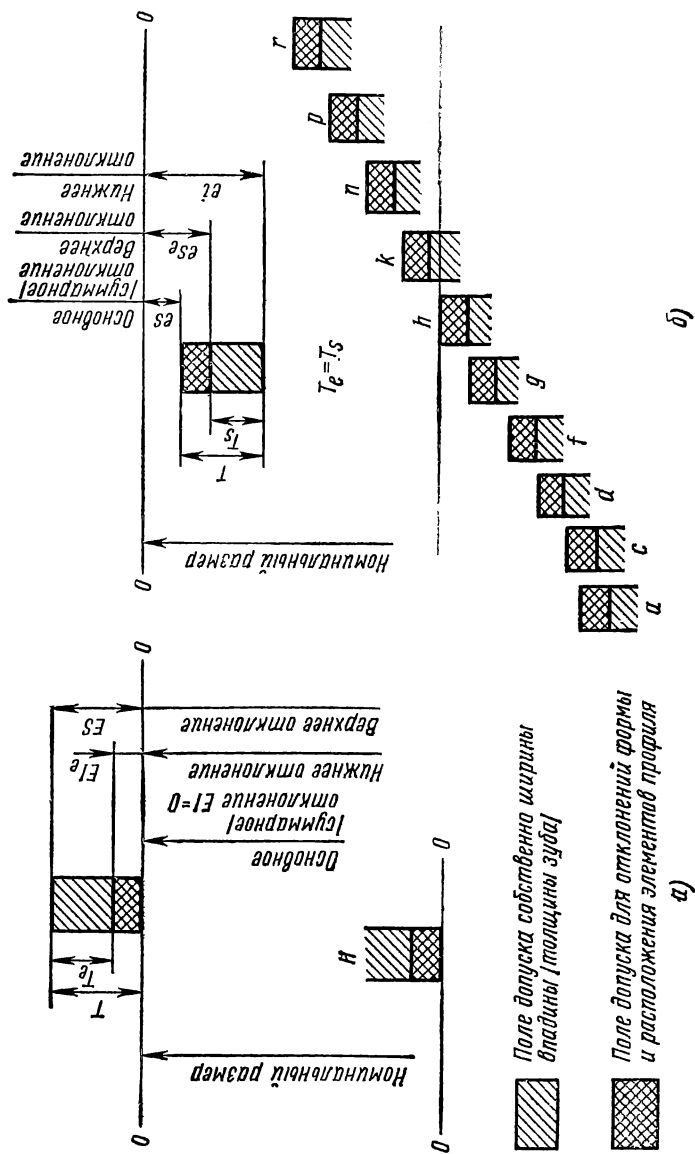


Рис. 91. Расположение полей допусков:

а — ширины впадины втулки, б — толщины зуба вала

9H/9g. Обозначение втулки: $50 \times 2 \times 9H$, СТ СЭВ 259—76; то же, вала: $50 \times 2 \times 9g$ СТ СЭВ 259—76.

При центрировании по наружному диаметру: $50 \times H7/g6 \times 2$ СТ СЭВ 259—76. Обозначение втулки: $50 \times H7 \times 2$ СТ СЭВ 259—76; то же, вала: $50 \times g6 \times 2$ СТ СЭВ 259—76.

При центрировании по внутреннему диаметру: $t \ 50 \times 2 \times H7/g6$ СТ СЭВ 259—76. Обозначение втулки: $i \ 50 \times 2 \times H7$ СТ СЭВ 259—76; то же, вала: $t \ 50 \times 2 \times g6$ СТ СЭВ 259—76.

§ 3. Допуски и посадки шпоночных соединений

Неподвижные соединения валов и отверстий различных деталей (шкивов, зубчатых колес и др.) при помощи шпонок или шлиц обеспечивают передачу крутящих моментов с одного вала на другой при сравнительно легкой разборке и сборке сборочных единиц (узлов). В конструкциях машин встречается несколько видов шпонок,

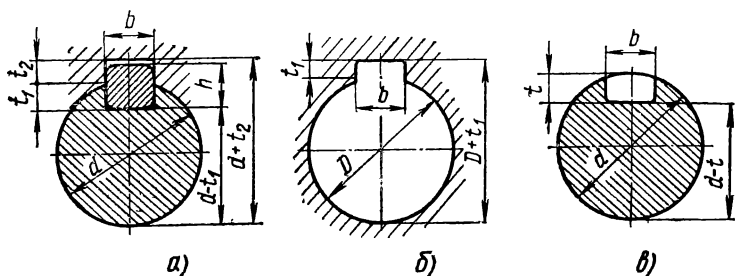


Рис. 92. Призматические шпонки:

a — общий вид соединения, *б* — паз во втулке, *в* — паз под шпонку у вала

но наибольшее распространение получили призматические шпонки (рис. 92), допуски и посадки которых стандартизованы СТ СЭВ 57—73. Посадка шпонки осуществляется по ширине b в системе вала.

Отклонения шпонки под посадку в пазе вала и в пазе втулки постоянны, а характер посадки обеспечивается изменением предельных отклонений пазов. Шпонки по ширине изготавливаются с допуском по $h9$. Ширина паза втулки под шпонку обрабатывается с допуском по $D9$;

J_9 ; P_9 ; а на ширину паза вала предусмотрены H_9 ; N_9 ; P_9 .

На другие параметры шпонки и пазов предусмотрены допуски по более грубым квалитетам на высоту шпонки — по $h11$, на глубину паза вала и втулки (на рис. 92 размеры t и t_1) по $H15$, на длину паза — по $h14$.

В механизмах, характеризующихся большой мощностью, передаваемой с одного вала на другой, шпоночные соединения заменяются шлицевыми соединениями, которые более прочны. Кроме того, при шлицевых соединениях лучше обеспечивается совпадение осей вала и втулки при работе, т. е. осуществляется более точное центрирование соединенных деталей. В машиностроении применяют несколько видов шлицевых соединений, из которых наиболее распространены прямобоочные (см. рис. 89) и эвольвентные (см. рис. 90).

§ 4. Калибры для контроля шлицевых соединений

Для обеспечения взаимозаменяемости шлицевых валов и втулок их проверяют комплексными проходными шлицевыми калибрами: шлицевый вал — кольцом (рис. 93, а), отверстие — пробкой (рис. 93, б). Допуски

на элементы комплексных калибров для шлицевых прямобоочных соединений предусмотрены СТ СЭВ 355—76. Поэлементный контроль по D , d и b осуществляют непроходными калибрами или измерительными приборами. В спорных случаях контроль с применением комплексного калибра является решающим.

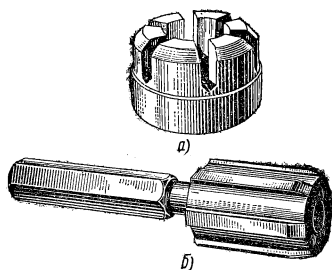


Рис. 93. Шлицевые калибры:
а — кольцо, б — пробка

Контроль элементов эвольвентных шлиц может

осуществляться средствами, предусмотренными для зубчатых колес. Толщину отдельных зубьев валов и ширину отдельных впадин отверстия проверяют косвенно с помощью роликов (рис. 94, а, б). Измерив размер M_B или M_A , сравнивают его с табличными значениями при номинальных размерах наружного диаметра соединения и

определяют отклонения по толщине зуба или ширине впадины.

Для контроля суммарных отклонений по толщине всех зубьев валов и ширине впадины отверстий применяют комплексные проходные шлицевые калибры — кольца и пробки. Суммарные отклонения складываются из действительных отклонений по толщине зубьев и ширине впадины и погрешностей профиля и расположения зубьев.

Для контроля только наружного диаметра вала или только внутреннего диаметра отверстия используют универсальные измерительные средства или предельные калибры-скобы и пробки. Предельные калибры можно применять и для проверки толщины зубьев и ширины впадин взамен контроля их с помощью роликов.

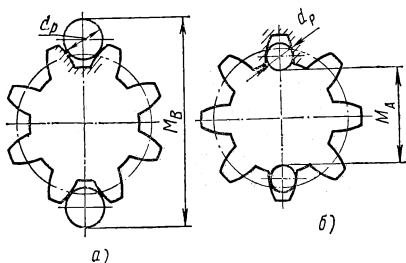


Рис. 94. Схема контроля эвольвентных шлиц с помощью роликов:

а — наружных шлиц, б — внутренних шлиц

Вопросы для повторения

1. По каким поверхностям осуществляются посадки в шпоночных соединениях и как они обозначаются в чертежах?

2. Назовите параметры прямобочного шлицевого соединения, по которым осуществляются посадки.

3. Что понимается под точностью центрирования и посадкой, по каким элементам шлицевого соединения обеспечивается наиболее высокая точность центрирования?

4. В каких случаях применяется более точная посадка по боковым сторонам?

5. Как обозначают допуски и посадки в рабочих и сборочных чертежах на прямобочные шлицевые соединения?

6. По каким параметрам осуществляются посадки в эвольвентных шлицевых соединениях и как обозначают допуски в чертежах?

7. Какие калибры применяют для контроля шпоночных и шлицевых соединений?

8. Какие преимущества и недостатки имеют прямобочные и эвольвентные шлицевые соединения?

Глава IX

ДОПУСКИ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

§ 1. Основные элементы зубчатых колес и передач

Зубчатые передачи применяются в разнообразных приборах и машинах — от миниатюрных часов до шагающих экскаваторов. В зависимости от взаимного расположения осей колес, образующих зубчатую передачу, и формы колес, передачи подразделяют на цилиндрические, конические и червячные.

Наиболее распространены цилиндрические передачи. Зубчатые колеса этих передач представляют собой детали сложной формы, у которых относительно центра равномерно расположены зубья. Боковые поверхности зубьев образуют линию, называемую эвольвентой. Представление об эвольвенте можно получить следующим образом.

На бумаге ставят цилиндрический предмет (например, стакан) с намотанной ниткой, на конце которой имеется петля. В петлю вставляют острие карандаша. Если теперь натянуть нитку и постепенно разматывать ее так, чтобы карандаш вычерчивал след, то на бумаге получится кривая, называемая эвольвентой или разверткой круга, диаметр которого равен диаметру цилиндрического предмета (основной круг). Окружность, разверткой которой является эвольвентная профильная линия зуба в сечении, перпендикулярном оси зубчатого колеса, называется основной окружностью.

В зубчатой передаче выделяются много различных элементов, которые облегчают конструирование колеса, наблюдение за правильностью технологического процесса, выбор методов и средств контроля. На рис. 95 показаны элементы зубчатого зацепления в плоскости, перпендикулярной оси. Кроме этих элементов в зубчатой передаче еще выделяются следующие.

Делительная окружность — окружность воображаемого цилиндра, соосного с осью колеса, проходящая так, что делит зуб на две равные части.

Начальная окружность — это воображаемая окружность, по которой происходит воображаемая об-

катка двух цилиндров при вращении и размер которой меняется в зависимости от межцентрового расстояния. Не следует путать понятия начальной и делительной окружности. Делительная окружность имеется в колесе и используется для расчетов, а начальная появляется только при зацеплении пары колес. В частном случае, если межцентровое расстояние равно сумме радиусов делительных окружностей, то начальные окружности совпадают с делительными.

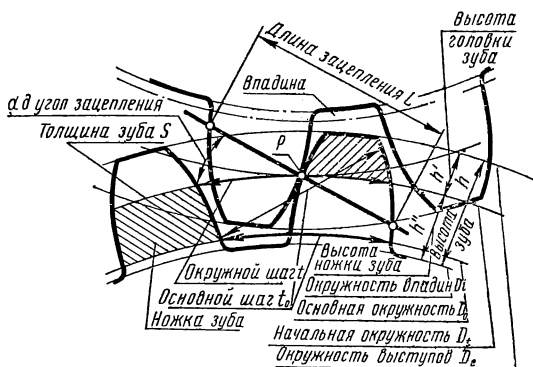


Рис. 95. Основные элементы эвольвентного зацепления

Под модулем m понимается длина в миллиметрах, приходящаяся в диаметре делительной окружности на один зуб, т. е.

$$m = \frac{d_d}{z}$$

Модуль служит для характеристики зубчатых колес; обычно через него выражают основные размеры зубчатого колеса и зацепления, например делительный диаметр $d_d = m \cdot z$. Ряды модулей стандартизованы СТ СЭВ 310—76, передачи с модулем менее 1 мм называются мелко модульными. Передаточное отношение u — это отношение угловых скоростей ведущего колеса ω_1 к ведомому ω_2 ; оно обратно пропорционально числам зубьев колеса и всегда больше единицы: $u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}$.

Передаточное отношение постоянно только теоретически, в действительной передаче оно обычно колеблет-

ся относительно среднего теоретического в зависимости от ошибок изготовления колес.

Боковой зазор — зазор, который образуется со стороны неработающих поверхностей зубьев сопрягаемых колес. Он равен величине поворота одного из сцепленных зубчатых колес при втором неподвижном.

§ 2. Нормы точности цилиндрических зубчатых колес и передач

Требования к зубчатым передачам в зависимости от их назначения и эксплуатационных условий различны.

В отсчетных системах, делительных машинах, винторезных и зуборезных станках и т. п. основное требование предъявляется к кинематической точности, т. е. к постоянству передаточного отношения за полный оборот. В передачах, предназначенных для больших скоростей, а также бесшумных (например, в автомашинах) основное требование предъявляется к плавности работы, т. е. колебанию передаточного отношения в каждый момент зацепления. В передачах, применяемых во всевозможных лебедках, подъемно-транспортных механизмах, металлургических машинах и т. д., требуется хорошее прилегание боковых поверхностей.

В зависимости от условий работы меняются требования к боковому зазору. Так, если передача имеет прямой и обратный ход, т. е. работает с реверсированием, то боковой зазор должен быть маленьким во избежание возникновения ударов при перемене направления вращения. Более значительный зазор нужен, если передача работает при высокой температуре (чтобы не было заклинивания зубьев), а также при относительно большой разности температур колес и корпуса механизма.

Допуски на параметры зубчатых колес и передач предусмотрены в различных стандартах, которые соответствуют данным стандартов ИСО, а допуски конических и гипоидных передач регламентирует СТ СЭВ 186—75. Так как построение систем допусков на все виды передач в основном одинаковое, рассмотрим содержание ГОСТ 1643—72 и СТ СЭВ 641—77, который введен в действие с 1 января 1980 г. и распространяется на цилиндрические передачи с модулем от 1 до 55 мм и с разным расположением зуба.

Все зубчатые колеса по точности изготовления разде-

ляются на 12 степеней: чем меньше номер степени, тем выше точность изготовления. Числовые отклонения в стандартах установлены пока для степеней с 3-й по 12-ю, а для степеней 1-й и 2-й допуски будут вводиться в дальнейшем по мере надобности и с учетом развития технологии изготовления и контроля колес. Для каждой степени точности предусмотрено три группы показателей независимых норм: нормы кинематической точности, нормы плавности работы, нормы контакта зубьев колес в передаче.

Нормы кинематической точности определяют величину полной погрешности угла поворота зубчатых колес за оборот и содержат требования к таким параметрам и элементам колеса, которые влияют на ошибки передаточного отношения за полный его оборот.

Нормы плавности работы определяют величину составляющих полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся за оборот колеса. Они содержат требования к таким параметрам и элементам колеса, которые влияют на изменение передаточного отношения, возникающего много раз за оборот колеса.

Нормы контакта определяют полноту прилегания боковых поверхностей сопряженных зубьев колес в передаче. Они содержат требования к таким параметрам и элементам колеса, которые влияют на величину поверхности касания сопрягаемых зубьев.

Случаи, когда в какой-то передаче требуется делать колеса с одинаковой точностью по всем трем нормам, крайне редки. Чаще бывает, когда один или два показателя точности являются основными, и остальные менее важны. Поэтому, когда в передаче требования по всем показателям являются одинаковыми, то для всех трех видов норм применяется одинаковая степень точности. Когда же необходимо по какому-либо показателю дать более точные нормы, то разрешается комбинировать, т. е. назначать различные степени точности по разным нормам.

Допуски на боковой зазор. Требования к боковому зазору (рис. 95) не зависят от степени точности и определяются видом сопряжения по нормам бокового зазора. ГОСТ 1643—72 и СТ СЭВ 641—77 предусматривают шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче и восемь видов допуска на боковой зазор

(рис. 96), которые обозначаются буквами латинского алфавита. Виды сопряжений обозначаются прописными буквами *H, E, D, C, B, A*, а виды допуска на боковой зазор строчными буквами *h, e, d, c, b, a, x, y, z*. Виды сопряжений и величины гарантированного зазора в гра-

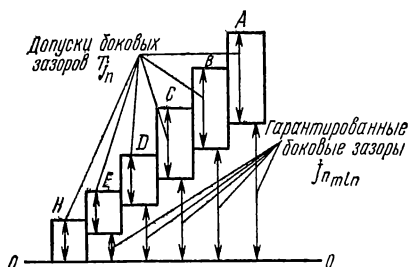


Рис. 96. Схема наименьших значений бокового зазора

фическом изображении показаны на рис. 96. Сопряжение вида *B* гарантирует боковой зазор, при котором исключается заклинивание стальной или чугунной передачи от нагрева при разности температур колес и корпуса в 25°C. Если зубчатая передача работает при более высокой температуре, то берут вид

сопряжения *A*, имеющий наибольший гарантированный зазор.

В большинстве случаев видам сопряжений *H* и *E* соответствует вид допуска на боковой зазор *h*, а видам сопряжений *D, C, B* и *A* соответственно виды допуска *h, d, c, b* и *a*. При необходимости допускается изменять это соответствие и использовать виды допуска *z, y* и *x*.

Устанавливаются шесть классов отклонений межосевого расстояния, обозначаемых в порядке понижения точности римскими цифрами от I до VI. Сопряжения *H* и *E* обеспечиваются при II классе, сопряжения *D, C, B* и *A* при классах III, IV, V и VI соответственно. Допускается изменять соответствие между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния. Это изменение должно быть отражено в условном обозначении точности на чертеже.

Условное обозначение точности зубчатой передачи в чертежах. Если конструктор принял допуски по всем трем нормам точности из одной степени точности, например 7-й, то обозначение имеет вид 7-С СТ СЭВ 641—77.

При установлении допусков по всем нормам точности из разных степеней точности и изменения соответствия между видом допуска на боковой зазор в обозначении пишутся три цифры (степени точности) и две буквы

(виды сопряжения бокового зазора и допуска). Например, 8-7-6-*Ba* СТ СЭВ 641—77.

Это условное обозначение показывает, что по нормам кинематической точности принята 8-я степень точности, по нормам плавности работы — 7-я степень, а по нормам контакта зубьев — 6-я степень. Вид сопряжения колес по *B*, а допуск на боковой зазор — по *a*. При комбинировании разных норм степеней точности нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности. Нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным, чем нормы плавности работы колес и передач.

При изменении соответствия между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния в обозначении после вида сопряжения и вида допуска через косую черту указывают класс отклонения межосевого расстояния и рассчитанный гарантированный боковой зазор $j_{n \min}$, например 7-*Ca*/V-128 СТ СЭВ 641—77.

§ 3. Нормируемые параметры зубчатых передач

Для каждой из трех норм точности (кинематической, плавности и контакта) и бокового зазора предусмотрены отдельные показатели точности, из которых либо один, либо два в совокупности (рис. 97) определяют степень точности колеса и образуют контрольные комплексы.

Степень точности колеса по нормам кинематической точности может быть установлена, если проверить:

- 1) кинематическую погрешность F'_{ir} (рис. 97, а) или
- 2) накопленную погрешность окружного шага F_{pr} (рис. 97, б), под которой понимается погрешность во взаимном расположении зубьев колеса, измеренных по одной окружности, или
- 3) радиальное биение зубчатого венца F_{rr} (рис. 97, в) и колебание длины общей нормали F_{wr} (рис. 97, г) как комплекс из двух допусков или
- 4) радиальное биение зубчатого венца F_{rr} (рис. 97, в) и погрешность обката F_{cr} , под которой понимается кинематическая погрешность станка для образования зубьев колеса, или

5) колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F_{ir}'' , т. е. изменение расстояния между осями колес — проверяемого и измерительного (рис. 97, д), и колебания длины общей нормали $V_{\omega r}$ (рис. 97, г) или

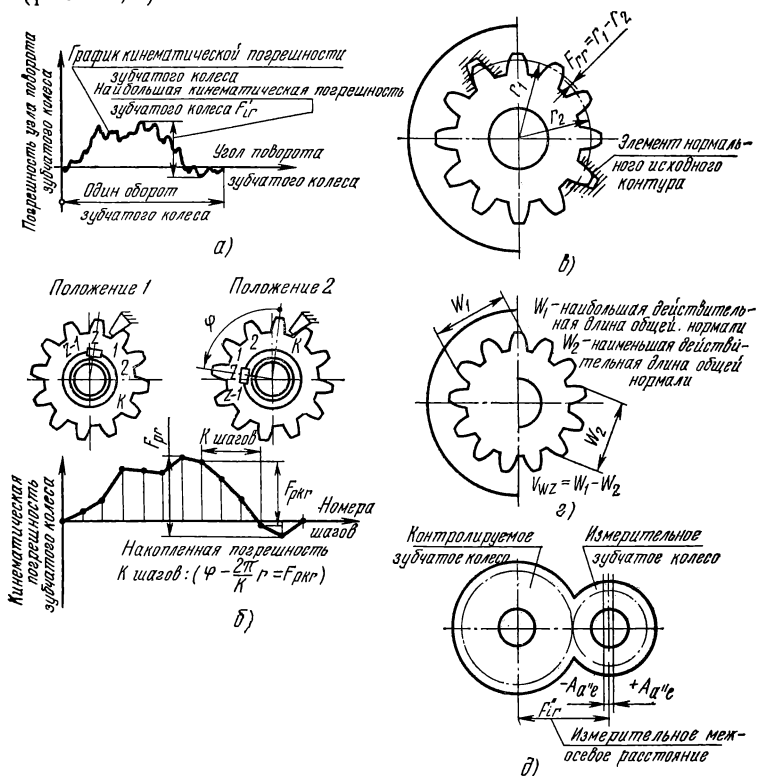


Рис. 97. Показатели кинематической точности:

а — кинематической погрешности колеса, б — накопленной погрешности шага колеса, в — радиального биения зубчатого венца, г — колебания длины общей нормали, д — колебания измерительного межосевого расстояния

6) колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса F_{ir}'' (рис. 97, д) и погрешность обката F_{cr} или

7) радиальное биение зубчатого венца F_{rr} (рис. 97, в) в колесах 8-й степени точности и грубее.

Из перечисленных комплексов определения кинема-

тической точности выбирают один, который и применяют на данном заводе.

Показатели F'_{ri} (рис. 97, а) и F_{pr} (рис. 97, б) характеризуют каждый в отдельности кинематическую погрешность колеса, которая возникает в основном от погрешности станка и неточности установки заготовки при обработке. В остальных контролируемых комплексах

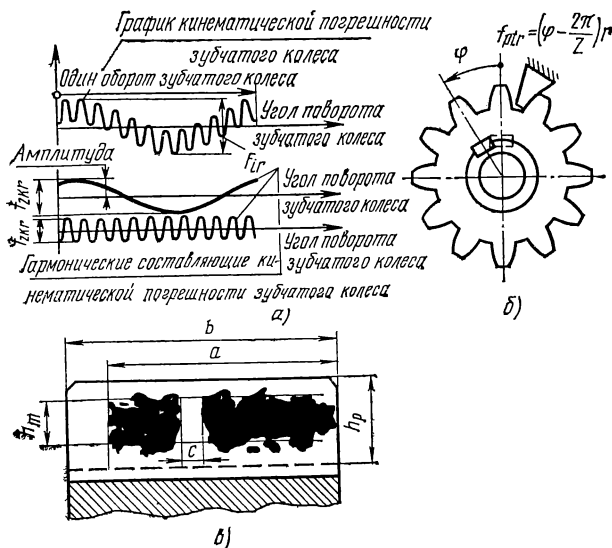


Рис. 98. Основные показатели плавности работы колеса и контакта зубьев:

a — циклическая погрешность, b — погрешность шага, c — суммарное пятно контакта

предусматривается нормирование допусками двух элементов, из которых один выявляет погрешности, вносимые от погрешности станка, другой выявляет погрешности, вносимые от погрешности установки заготовки на станок.

Степень точности колеса по нормам плавности может быть установлена, если проверить:

- 1) циклическую погрешность f_{zkr} (рис. 98, а), которая является удвоенной амплитудой гармонической составляющей кинематической погрешности колеса;
- 2) отклонение шага f_{rbz} (рис. 98, б), которое характе-

ризует кинематическую погрешность зубчатого колеса при его повороте на один номинальный шаг (при степенях точности 7-й и грубее).

Стандарт предусматривает еще и другие показатели плавности работы колеса: колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе f_{ir}'' , комплекс из двух показателей — погрешности профиля зуба f_{tr} и отклонения шага зацепления f_{pbr} , равного разности между действительным и номинальным шагами зацепления; комплекс из двух показателей — отклонения шага f_{pb} и отклонения шага зацепления f_{pbr} .

Степень точности колеса по нормам контакта зубьев чаще всего определяется пятном контакта (рис. 98, в); т. е. частью боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубу парного колеса (на профиль которого нанесен слой краски) после вращения собранной передачи при легком торможении. Допуск на пятно контакта предусмотрен в процентах по длине a и по высоте пятна h_p прилегания к длине зуба b и высоте h_m в виде

$$\frac{a}{b} 100 \% \quad \text{и} \quad \frac{h_p}{h_m} 100 \%.$$

При составлении чертежей на зубчатые передачи и колеса конструкторы пользуются не ГОСТами непосредственно, а ОСТАми, которые составлены на основе ГОСТов. В ОСТАх для автомобильной промышленности, авиационной, станкостроительной, приборостроения и т. д. указываются конкретные показатели норм точности или комплексы норм, применяемые в данной отрасли машиностроения. Ограниченное число рекомендуемых показателей упрощает и удешевляет контроль колес на производстве.

§ 4. Методы и средства измерения параметров зубчатых колес и передач

Требования к приборам для контроля колес предусмотрены в специальных стандартах.

Для контроля кинематической погрешности F_{ir}' и одновременно циклической f_{zhr} используют приборы для комплексного однопрофильного контроля трех моделей: БВ-5033, БВ-5053 и БВ-936.

На рис. 99, *а* показана схема прибора с фрикционными дисками, которые создают образцовое движение. Контролируемое колесо 4 установлено на шпинделе 3. На одной оси с колесом находится фрикционный диск 5. На оси 2 находится измерительное (образцовое) колесо 1. Концентрично оси 2 располагается шпиндель 7,

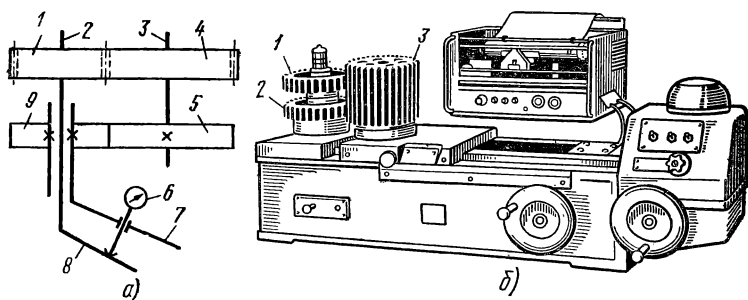


Рис. 99. Схема прибора с фрикционными дисками комплексного одно-профильного контроля (*а*) и прибор с промежуточным колесом (*б*)

на котором закреплен второй фрикционный диск 9. Диаметры дисков равны диаметрам начальных окружностей зацепляющихся колес. При вращении колес из-за погрешности проверяемого колеса происходит опережение или отставание во времени шпинделей 3 и 7. Изменения взаимного положения шпинделей отмечаются отсчетным устройством 6, на которое воздействует планка 8, находящаяся на оси 2.

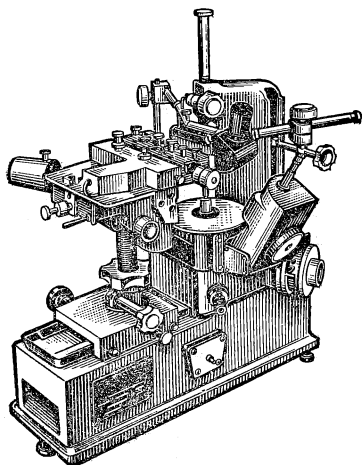
Эта схема является принципиальной схемой прибора, основой которого служит пара колес, из которых одно образцовое (измерительное) и одно контролируемое. Параллельно используется и образцовая передача в виде двух дисков для согласования движений.

Существует большая группа приборов, где согласованные движения осуществляются благодаря использованию не только дисков, но и электронных устройств.

На рис. 99, *б* показан прибор типа БВ-608 для контроля кинематической погрешности цилиндрических колес. Проверяемое колесо 1 и измерительное колесо 2 устанавливаются на два концентрично расположенных шпинделя и вводятся в зацепление с промежуточным колесом 3. При вращении колес погрешность угла пово-

рота проверяемого колеса вызывает через промежуточное колесо 3 относительный поворот шпинделя измерительного колеса, что воспринимается индуктивным датчиком и наносится самописцем в виде диаграммы (см. рис. 97, а).

Накопленная погрешность окружного шага F_{pr} обычно проверяется на различных приборах



сравнением с угловым лимбом. Это производится либо на делительных головках, либо на специальных приборах, включающих угловой лимб.

На рис. 100 показан прибор БВ-966 с угловым лимбом и микроскопом для отсчета угла поворота лимба вместе с контролируемым колесом, установленным на оправке в вертикальных центрах. Прибор предназначен для контроля мелко модульных колес до 160 мм. Аналогичные приборы выпускаются для колес до 320 мм (БВ-584М) и до 400 мм (БВ-5015).

Рис. 100. Универсальный прибор модели БВ-966

Данные приборы относятся к группе универсальных приборов, так как на них используют различные измерительные наконечники (наборы прилагаются к прибору), с помощью которых можно измерять у разных колес не только окружной шаг, но и основной шаг, радиальное биение, длину общей нормали. На приборе можно проверять также разность окружных шагов и рассчитывать накопленные ошибки.

Радиальное биение F_{rr} контролируется на специальных приборах — биениемерах (рис. 101). Для контроля колесо устанавливают в центрах, после чего поочередно между зубьями вводят наконечник в виде конуса с углом 40° .

Колебание длины общей нормали V_{or} можно контролировать разным инструментом, у которого имеются две параллельные измерительные плоскости.

Для этих целей выпускают специальные микрометры с измерительными тарелочками или специальные индикаторные скобы — нормалемеры (рис. 102).

Погрешность обката $F_{ст}$ проверяется специальными приборами для контроля кинематической точности станков или накопленной ошибки измерением пробного колеса, нарезанного на этом станке.

Колебание измерительного межосевого расстояния и предельное отклонение его определяют на приборах, которые называются приборами для комплексного двухпрофильного контроля или межцентромерами. В одном из таких приборов (рис. 103) проверяемое и измерительное колеса размещаются на двух каретках, из которых одна неподвижная, а другая сделана на шариковых направляющих и прижимается

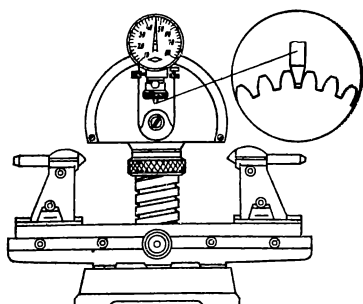


Рис. 101. Биеинмер

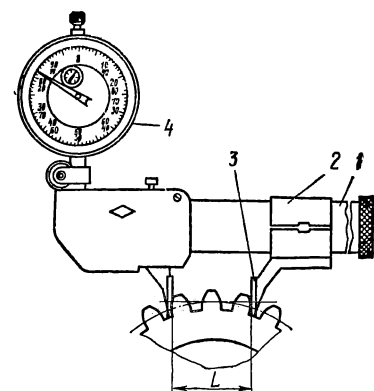


Рис. 102. Индикаторный нормалемер

пружинами к неподвижной каретке. При вращении колеса контактируются обоими профилями, и если есть погрешность в проверяемом колесе, то каретка с шариковыми направляющими при вращении колеса смещается, что и отмечается индикатором или может быть передано самописцу.

Основной шаг t_0 обычно проверяют с помощью специальных накладных шагомеров. На рис. 104, а показан ша-

гомер модели 10, оснащенный двумя отсчетными шкалами, чтобы можно было вести отсчет с двух сторон прибора. В приборе имеются два наконечника 1 и 2 с параллельными сторонами, которые настраиваются на

номинальный размер по концевым мерам длины. Третий наконечник 3 служит для поддержания прибора на колесе 4.

Разность окружных шагов проверяют либо с помощью угломерных приборов одновременно с конт-

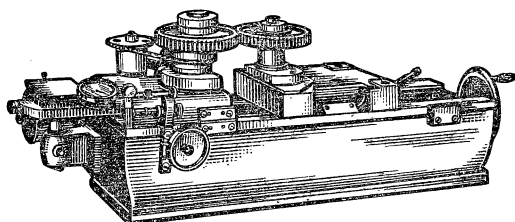


Рис. 103. Межцентромер

ролем накопленной погрешности окружного шага, либо с помощью накладных шагомеров для окружного шага (рис. 104, б). В этом шагомере два измерительных наконечника 1 и 2 устанавливаются с помощью двух специальных упоров 3 на одинаковом расстоянии от оси. Один наконечник неподвижный, а другой связан с индикатором. Прибор настраивают на нуль по произвольной паре зубьев колеса 4, а потом этот размер сравнивают с размерами на остальных парах зубьев.

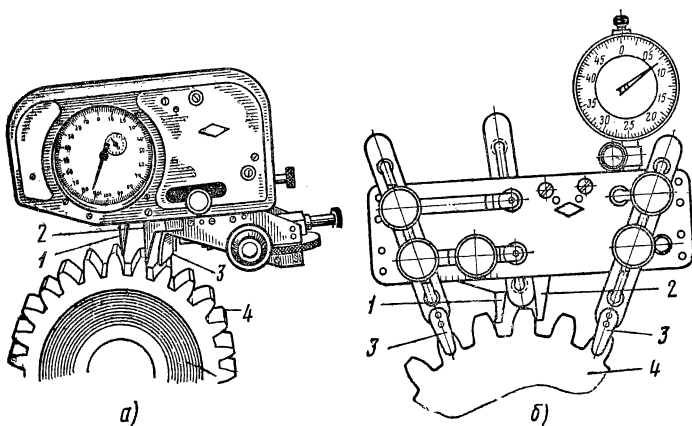


Рис. 104. Шагомеры:

а — для контроля основного шага, б — для контроля окружного шага

Проверка профиля заключается в проверке правильности эвольвенты. Она осуществляется на специальных приборах — эвольвентомерах, в которых воспроизводится теоретическая эвольвента и сравнивается с действительной эвольвентой колеса. Простейший способ воспроизведения заключается в обкатке линейки по гладкому диску, диаметр которого равен основной окружности контролируемого колеса.

Эвольвентомеры выпускают пяти моделей: три — универсальные с самописцами КЭУС МА, КЭУС МБ и БВ-5032 и два без самописцев БВ-1089 и БВ-5057 (для мелкокомодульных колес).

Пятно контакта (см. рис. 98, в) проверяют обычно при рабочем монтаже. На боковые поверхности зубьев измерительного колеса наносят небольшой слой краски (берлинская лазурь, голландская сажа и т. д.). После этого передача работает под небольшой нагрузкой, затем определяют отпечатки на другом колесе.

Боковой зазор в передаче обычно проверяют с помощью набора щупов или измерительной головкой при упоре наконечника в боковую поверхность зуба колеса и покачивания его при неподвижном другом колесе. Проверить боковой зазор также можно, если расположить по нерабочим профилям колеса свинцовую пластину, а когда она сожмется при вращении колес, измерить ее толщину.

Вид сопряжения по боковому зазору может быть установлен, если проверить смещение исходного контура. В прямозубых колесах сопряжение по боковому зазору можно установить по отклонению измерительного межосевого расстояния.

Контроль смещения исходного контура цилиндрических колес осуществляют тангенциальным зубомером (рис. 105).

При измерении за базу принимают наружный диа-

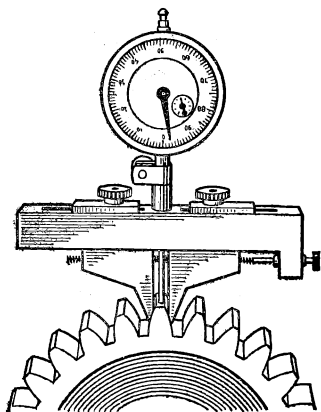


Рис. 105. Зубомер смещения (тангенциальный зубомер)

метр колеса. Для установки зубомера на контролируемый размер к нему прилагаются мерные ролики. Особенностью зубомера является сохранение симметричного расположения измерительных губок относительно индикатора, которые образуют как бы рейку, например, червячной фрезы. После настройки прибора по специальным роликам на номинальное положение его устанавливают на колесо, и если зуб сделан тоньше, то прибор ближе пройдет к оси колеса, а если толще, то отойдет дальше от оси колеса.

Вопросы для повторения

1. Покажите на эскизе основные элементы зубчатого колеса.
2. Какие три группы норм точности предусмотрены для оценки качества зубчатого колеса?
3. Сколько степеней точности предусмотрено стандартами для изготовления зубчатых колес и передач?
4. Какие нормы бокового зазора установлены стандартами и как они обозначаются?
5. Если требуется обеспечить бесшумность работы зубчатой передачи, то для какой нормы точности (из трех основных) нужно брать допуски по наиболее высокой степени точности?
6. Почему для нормы контакта зубьев допуски берутся по высокой степени точности у силовых передач (грузоподъемные устройства и т. п.)?
7. Как обозначается точность зубчатого колеса в чертежах?
8. Назовите несколько способов контроля кинематической нормы точности, предусмотренных стандартами.
9. Какими средствами определяются биение зубчатого венца и отклонение длины общей нормали?
10. Стандартом какой категории устанавливаются допуски и комплексы из двух допусков по нормам точности в различных отраслях машиностроения?

Глава X

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В ОБЛАСТИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ И КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ

§ 1. Понятие о теории вероятностей

В жизни каждому человеку приходится неизбежно и часто встречаться с различными случайными событиями. В этом случае под «событием» понимается всякое явление, которое произошло, но которое могло и не про-

изойти. Например, утром был дождь, но он мог бы и не быть, или товарищ выиграл по лотерейному билету мотоцикл, но он мог бы и не выиграть его и т. п.

Вероятность появления какого-либо события, которое может произойти, но может и не произойти, человек в быту определяет различными словами, например: вероятно, очень вероятно, возможно, вряд ли, наверное, правдоподобно, пожалуй, едва ли, вернее всего, допустим, кажется и т. д. Эти слова определяют разную степень вероятности. Например, человек говорит: «возможно будет дождь», «вряд ли будет дождь», «дождь весьма вероятен».

Более точно вероятность появления того или иного события можно узнать, используя числовые характеристики. Например, на сборку поступило 15 валов, из них 1 вал с размером 50 мм; 2 вала с размером 49,98 мм; 12 валов с промежуточными размерами между 50 и 49,98 мм. Действительного размера каждого вала рабочий сборщик не знает и, работая по принципу полной взаимозаменяемости, может на очередную собираемую машину взять любой вал. Какова вероятность того, что на первую собираемую машину попадет вал размером 49,98 мм? Количество случаев, когда может появиться ожидаемое событие, т. е. постановка вала 49,98 мм, равно двум (так как только два вала из 15 имеют такой размер), а общее количество всех возможных случаев равно 15.

Если количественное выражение вероятности интересующего нас события (например, постановку вала с размером 49,98 мм) обозначим через P ; число случаев, благоприятствующих появлению данного события, через m ; а число всех возможных случаев через N , то получим

$$P = \frac{m}{N} = \frac{2}{15} = 0,133, \text{ или } 13,3 \, \%.$$

Это означает, что вероятность постановки в собираемую машину вала с размером 49,98 мм равна 13,3 %. Если в остальных партиях деталей, которые поступают на сборку, соотношения размеров окажутся такими, как в этом примере, то в среднем на 100 собранных машин в 13 может быть вал с таким размером.

Возможны случаи, когда вероятность $P=0$. Так, например, если на сборку поступят 15 валов, но среди них не будет ни одного вала с размером 49,98 мм ($m=0$),

то вероятность постановки в машину вала с таким размером будет, естественно, равна нулю:

$$P = \frac{0}{15} = 0.$$

Это означает, что постановка вала в машину с размером 49,98 мм невероятна, т. е. такое событие невозможно.

Если все 15 валов будут иметь один и тот же размер (49,98 мм), то вероятность постановки в машину вала размером 49,98 мм будет равна единице:

$$P = \frac{15}{15} = 1.$$

В этом случае постановка в машину вала с размером 49,98 мм будет не случайным событием, а достоверным. Таким образом, числовое значение вероятности может быть больше нуля, но меньше единицы и может выражаться в процентах (меньше 100 %, но больше 0 %).

§ 2. Основные теоремы теории вероятностей

Теория вероятностей — это математическая наука, занимающаяся изучением случайных событий и вероятностей их появления.

Теорема простых событий. Вероятность P появления какого-то события определяется как отношение числа случаев m , благоприятствующих появлению данного события, к числу всех возможных и несовместимых случаев N . Записывается это так:

$$P = \frac{m}{N}.$$

Равновозможными или равновероятными являются такие события, когда каждое из них имеет одинаковую возможность появиться. Несовместимыми называются события, взаимно исключающие друг друга (при появлении одного из них другое уже не может иметь места). Например, по одному лотерейному билету можно выиграть только какой-либо один предмет.

Теорема сложения. Если мы имеем несколько несовместимых, т. е. исключающих друг друга, событий с разными значениями вероятностей P_1, P_2, P_3 и т. д., то вероятность того, что произойдет хотя бы одно из этих событий, равна сумме вероятностей этих событий. Эта теорема представляется так: $P = P_1 + P_2 + P_3$ и т. д.

Например, для сборки машин подано 50 валов ($N_1=50$), среди которых находились два вала с наибольшим размером 30 мм, один вал с наименьшим размером 29,98 мм, а остальные валы с разными промежуточными размерами. Слесарь не знает, какие размеры имеют те или иные валы, и берет для сборки машины первые попавшиеся.

Вероятность постановки в машину вала с наибольшим размером 30 мм (обозначим это как событие P_1) равна 0,04:

$$P_1 = \frac{2}{50} = 0,04,$$

а вероятность постановки вала с наименьшим размером 29,98 мм (обозначим это событие P_2) равна 0,02:

$$P_2 = \frac{1}{50} = 0,02.$$

Следовательно, вероятность постановки в собираемую машину вала с наибольшим размером или с наименьшим равна сумме вероятностей их: $P = P_1 + P_2 = 0,04 + 0,02 = 0,06$, или 6 %.

Теорема умножения. Если мы имеем ряд событий, являющихся независимыми друг от друга, с соответствующими индивидуальными вероятностями P_1, P_2, P_3 и т. д., то вероятность P одновременного или последовательного появления двух или нескольких из них равна произведению вероятностей каждого из этих событий. Это пишется так: $P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$ и т. д.

Так как вероятность каждого случайного события представляется числом меньше 1, то в результате при умножении ряда таких чисел получится очень малое число. Следовательно, из теоремы умножения вытекает, что совпадение ряда случайных событий явление очень редкое.

Если, например, при установленном технологическом процессе вероятность появления валов с наименьшим предельным размером составляет 0,02 (т. е. 2 %), а вероятность втулок с наибольшим предельным размером отверстия 0,01 (1 %), то вероятность того, что собранные вал и втулка будут с такими размерами, равна: $P = 0,02 \cdot 0,01 = 0,0002$, т. е. 0,02 %.

Это означает, что в среднем на 10 000 собранных изделий только в двух может быть наибольший предельный зазор.

§ 3. Законы распределения случайных величин и их применение на производстве

Числовые значения случайных событий называются случайными величинами. Они распределяются по определенным математическим законам, которые графически представляются в виде различных кривых. Как известно, при обработке заготовок неизбежны погрешности, и поэтому нельзя получить у всех изготовленных деталей точно один и тот же заданный размер. Появление того или иного размера у очередной изготавливаемой детали является случайным событием, а значение самого размера будет случайной величиной. Случайные величины обладают определенными закономерностями, которые можно установить при большом количестве наблюдений и при знании основных приемов обработки результатов наблюдений.

Так, на основе анализа размеров 200 деталей (табл. 32), изготовленных при соблюдении технологиче-

32. Размеры изготовленных деталей

40,145	40,141	40,151	40,151	40,158	40,139	40,143	40,134
145	125	132	140	140	147	141	151
146	134	134	144	148	150	144	134
166	139	143	146	150	133	128	129
157	141	123	140	143	145	147	140
150	152	146	129	143	155	141	137
146	142	126	136	137	149	158	144
134	138	142	150	139	148	151	134
146	138	136	140	143	134	142	144
144	138	142	143	112	144	148	137
151	150	141	143	137	130	122	151
142	148	136	124	139	135	130	139
141	134	155	147	143	138	154	138
146	138	148	145	146	145	139	133
121	134	134	147	126	135	148	133
146	149	135	136	150	130	135	127
152	130	134	139	145	136	137	132
142	128	133	143	140	151	145	138
144	139	134	149	147	140	153	132
142	150	145	134	140	150	145	132
148	151	149	127	140	136	162	139
145	144	133	132	149	130	123	157
135	143	134	144	139	150	146	142
148	140	143	145	131	138	141	150
158	136	131	139	144	128	142	40,141

33. Частота распределения по 11 интервалам

Интервалы размеров, мм	Количество деталей	Интервалы размеров, мм	Количество деталей
Менее 40,120	1	40,140—40,144	47
40,120—40,124	5	40,145—40,149	39
40,125—40,129	10	40,150—40,154	22
40,130—40,134	30	40,155—40,159	7
40,135—40,139	37	40,160—40,164	1
		Более 40,165	1

ского процесса, невозможно установить какой-либо закономерности в распределении размеров данной партии. Для этого нужно построить ряды частот, т. е. определить частоту появления определенного размера и диаграмму распределения.

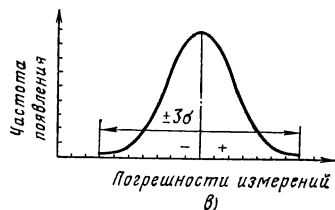
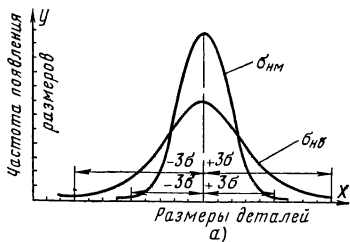
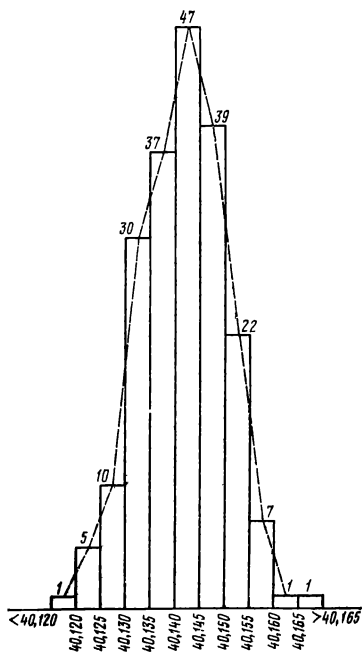


Рис. 107. Кривые законов распределения случайных величин: а — нормального распределения размеров деталей, б — существенно положительных величин, в — нормального распределения погрешностей измерений

Рис. 106. Гистограмма и практическая кривая распределения размеров

В табл. 33 все значения размеров, обнаруженных у деталей от наибольшего до наименьшего, разбиты на 11 интервалов и по каждому интервалу показано количество деталей (частота), размеры которых охватываются данным интервалом. Если на графике отложить по горизонтальной оси (X) интервалы размеров, а по вертикальной (Y)—частоту повторения деталей (количество их), то характер распределения всей партии деталей наглядно представится столбиковой диаграммой, называемой гистограммой (рис. 106). Соединив середины высот прямоугольников на диаграмме, получим практическую кривую распределения размеров, которая называется полигоном распределения.

Анализ рядов частот (см. табл. 33) и формы полученной кривой (см. рис. 106) показывают, что распределение размеров деталей, как случайных величин, имеет определенную закономерность. Например, больше всего деталей имеют размеры, близкие к размерам среднего интервала. Чем меньше и больше размеры деталей, тем реже они повторяются.

Многочисленными измерениями деталей, изготовленных по разным технологическим процессам (на станках, автоматах, полуавтоматах и др.), установлено, что при обработке распределение размеров соответствует широко известному закону нормального распределения случайных величин. Этот закон выражен кривыми колоколообразного вида (рис. 107, а), называемыми кривыми Гаусса (по фамилии немецкого ученого).

Характерными особенностями закона нормального распределения случайных величин является то, что центром распределения случайных величин является их среднее значение, что появление случайных величин с одинаковыми отклонениями от среднего, но с разными знаками (в «+» и в «—»), равновероятно. Чем меньше и чем больше значение случайных величин, тем реже они встречаются.

Установив, что распределение размеров деталей подчиняется закону нормального распределения, используют особенности этого закона для определения точности технологических процессов. Для этого после изготовления партий деталей измеряют их размеры и определяют два основных показателя закона распределения: среднее арифметическое значение \bar{X} и среднее квадратическое отклонение от среднего σ (сигма).

Среднее арифметическое значение \bar{X} определяется по формуле

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum X_i}{N},$$

где X_1, X_2 и т. д. — размеры отдельных деталей; N — общее количество деталей; \sum — знак суммы.

Среднее квадратическое отклонение от среднего определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2}{N - 1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}},$$

где $(X_1 - \bar{X}), (X_2 - \bar{X})$ и т. д. — разности между размером каждой детали и средним арифметическим размером.

Среднее арифметическое значение размеров характеризует центр, вокруг которого группируются размеры при данном методе обработки. Среднее квадратическое отклонение σ является количественной характеристикой рассеивания размеров при обработке, и поэтому по значению величины σ оценивают точность технологического процесса. Чем круче будет кривая, тем меньше значение σ и, следовательно, точнее будет технологический процесс.

На рис. 107, а показаны две кривые, построенные по результатам измерений размеров деталей, изготовленных на двух разных по точности станках. На кривой Гаусса ветви ее не сливаются с осью, а, приближаясь к ней, уходят в бесконечность. Но применительно к размерам деталей площадь кривой ограничивают определенными пределами, для чего пользуются значениями σ . Если площадь кривой ограничить в пределах $+3\sigma$ и -3σ , то по расчетам теории вероятностей 99,73 % площади будет находиться в заданной зоне и 0,27 % будет находиться за пределами $\pm 3\sigma$ (рис. 107, а).

Поэтому при сравнении величины допуска на обработку по чертежу с точностью технологического процесса принимают, чтобы допуск был не менее 6σ .

Для ориентировочного определения точности технологического процесса или правильности настройки станка нужно изготовить 10—30 деталей.

Например, измерены размеры у 10 деталей, снятых

с бесцентрошлифовального станка при установленном технологическом процессе. Для удобства расчета значений \bar{X} и σ воспользуемся табл. 34, где значения размеров даются в миллиметрах, а значения разности $X - \bar{X}$ в микрометрах:

$$\bar{X} = \frac{105,5}{N} = 10,55 \text{ мм};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{39}{9}} \approx 2 \text{ мкм.}$$

Следовательно, данный технологический процесс по точности соответствует допуску по чертежу, если допуск не менее 12 мкм, так как $6\sigma = 6 \cdot 2 = 12 \text{ мкм}$.

34. Значения размеров и расчет \bar{X} и σ

№ п/п	Размер детали, мм	Средний арифметический размер, \bar{X} , мм	$X - \bar{X}$, мкм	$(X - \bar{X})^2$, мкм
1	10,552	$\frac{105,50}{50} = 10,550$	2	4
2	10,550		0	0
3	10,548		-2	4
4	10,553		3	9
5	10,548		-4	4
6	10,547		-3	9
7	10,550		0	0
8	10,552		2	4
9	10,551		1	1
10	10,548		-2	4
Сумма: 105,499			Сумма: 39 мкм	
			$\sigma = \sqrt{\frac{39}{9}} \approx 2 \text{ мкм}$	

Для анализа технологического процесса обращают внимание не только на разброс погрешностей изготовленных деталей, но и на значение среднего арифметического. При правильно построенном технологическом процессе необходимо, чтобы среднее арифметическое значение \bar{X} совпадало с серединой поля допуска, и если разброс размеров, т. е. $\pm 3\sigma$, равен допуску, то можно

надеяться, что процент брака деталей будет ничтожно малый (не менее 0,27 %).

Кроме закона нормального распределения случайных величин существуют другие математические законы распределения случайных величин, но применительно к размерам изготавливаемых деталей они применяются на производстве очень редко, кроме закона существенно положительных величин (рис. 107, б).

По закону существенно положительных величин, который известен в математике как закон Максвелла, распределяются величины отклонений формы и расположения поверхностей: отклонений от круглости, перпендикулярности, торцовое и радиальное биение, биение начальной окружности зубчатых колес и др.

Форма кривой Максвелла приведена на рис. 107, б: по горизонтальной оси располагаются величины отклонений от нуля, а по вертикальной оси частота их появления. Применительно к торцовому биению это представляется так: какое-то количество деталей не имеют биения (оно равно нулю), затем с увеличением значений биения увеличивается и частота их повторения. В зависимости от точности технологического процесса увеличение частоты повторения биений ограничивается определенным пределом величины биения X_{\max} . При дальнейшем повышении величины биения количество деталей с такими величинами биения уменьшается. Теоретическая область величины биения от нуля до бесконечности.

Показателем точности технологического процесса по отклонениям формы и расположения поверхностей обрабатываемых деталей также является среднее квадратическое отклонений σ_{ϕ} . Если определить измерением величины отклонений формы у n деталей, то значение показателя точности процесса можно подсчитать по формуле

$$\sigma_{\phi} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_{\phi})^2}{n - 1}}, \text{ где } \bar{X} \text{ — среднее арифметическое значение из полученных величин отклонений формы.}$$

Как видно из рис. 107, б, расположение отклонений на кривой Максвелла одностороннее и, по расчетам теории вероятностей, 99,73 % всей площади кривой ограничивается величиной, равной $5,25 \sigma_{\phi}$. За пределом $5,25 \sigma_{\phi}$ будет всего 0,27 % площади. Следовательно, если допуск на отклонение формы детали установить равным

5,25 σ_{ϕ} , то вероятность годных деталей (с отклонениями, равными и меньше величины 5,25 σ_{ϕ}) будет равна 99,73 %, а вероятность брака, т. е. количества деталей с отклонениями формы больше 5,25 σ_{ϕ} , будет всего 0,27 %.

§ 4. Влияние погрешностей измерения на результат забраковки партии деталей

Допустим, что нужно измерить валы по размеру $100h12_{(-0,35)}$. Руководствуясь установленными рекомендациями выбора измерительных средств (см. § 13) при грубых квалитетах, допускают погрешность измерения $\Delta_{\text{изм}}$ не более 20 % от допуска на обработку. В нашем случае при допуске $\delta = 0,35$ мм можно взять измерительное средство с погрешностью измерения $\Delta_{\text{изм}}$ не более 0,070 мм (см. приложение VIII). Этому условию соответствует микрометр с отсчетом 0,01 мм (см. приложение IX).

Как видно из схемы расположения поля допуска на обработку и погрешности измерения штангенциркулем, появление погрешности измерения может вызвать ложное забракование годных валов (с размерами в пределах допуска) или пропуск валов с завышенными или заниженными размерами в числе годных.

Если длина вала имеет размер 100 мм, а при измерении погрешность появится со знаком плюс, то такой вал будет признан негодным (ложное забракование). И наоборот, если погрешность появится со знаком минус, то вал, имеющий завышенный размер (например, 100,05 мм), будет принят как годный. Такое же положение может иметь место и при размерах валов, близких к наименьшему предельному размеру 99,650 мм. Из рис. 64, б видно, что вследствие влияния погрешностей измерения вероятность ложного забракования деталей и принятия дефектных по размерам деталей зависит от отношения погрешности измерения к допуску по чертежу. Чем больше это отношение, т. е. чем грубее измерительное средство, тем больше и значение вероятности неприятных явлений.

На величину этих вероятностей влияет также точность технологического процесса обработки, характеризующаяся рассеиванием размеров деталей при обработке и определяемая величиной среднего квадратического отклонения σ .

Если точность технологического процесса не соответствует установленному допуску на обработку, то чем меньше будет отношение величины допуска к величине 6σ , тем больше будет вероятность ложного забракования годных деталей и пропуска дефектных деталей как годных.

Предельные значения этих вероятностей в процентах в зависимости от отношения погрешности измерения к допуску по чертежу приведены в табл. 35.

35. Вероятность предельного количества неправильно принятых и неправильно забракованных деталей

Отношение погрешности измерения к допуску $\frac{\Delta_{\text{изм}}}{\delta}, \%$	Вероятность, %		Отношение погрешности измерения к допуску $\frac{\Delta_{\text{изм}}}{\delta}, \%$	Вероятность, %	
	неправильно принятых деталей	неправильно забракованных деталей		неправильно принятых деталей	неправильно забракованных деталей
5	0,37	0,64	30	3,15	4,4
10	0,98	1,34	35	3,64	5,3
15	1,55	2,06	40	4,13	6,18
20	2,10	2,84	45	4,53	7,08
25	2,64	3,54	50	5,05	8,11

Значения вероятностей, приведенные в табл. 35, в равной степени затрагивают работу конструктора и производственников (рабочего и мастера). Ложное забракование ряда деталей ведет к невыполнению плана, уменьшению зарплаты рабочего (за брак не платят) и т. д. Если детали не подвергнутся разбраковке в изоляторе брака, то пропадают материальные ценности. При неправильном принятии деталей с завышенными или заниженными окончательными размерами может нарушиться характер посадки. При ответственных соединениях, например при посадках с гарантированными натягами, увеличение или уменьшение допускаемых натягов может вызвать ненадежность соединения, а при подвижных посадках увеличение наибольшего зазора приводит к снижению долговечности работы сборочной единицы. Следовательно, выбор измерительных средств должен производиться обоснованно с учетом не только точности измерения, но и влияния ее на результаты рассортировки.

1. Что называется случайным событием и случайной величиной и как часто они появляются?
2. Что называется теорией вероятностей? Как обозначаются вероятности и случайные события?
3. Почему вероятность совпадения двух и более случайных событий мала и как она определяется?
4. Какой закон распределения случайных величин используется для определения точности технологического процесса и что является оценкой (критерием) этой точности?
5. На что показывает средний арифметический размер \bar{X} и среднее квадратическое отклонение σ при измерении размеров у партии деталей?
6. Как можно определить, на каком станке технологический процесс обработки точнее?

Глава XI

ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЯХ

§ 1. Виды и назначение размерных цепей

Машины и приборы, собранные из отдельных деталей, хорошо работают в том случае, если каждая деталь в них будет занимать заданное ей место относительно других деталей. Правильное положение деталей и их поверхностей и осей относительно других деталей в изделии обеспечивается расчетом так называемых размерных цепей, термины и определения которых устанавливает ГОСТ 16319—70, а методы расчета — ГОСТ 16320—70.

Размерной цепью называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

Размерной цепью называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи. В зависимости от поставленных задач различают размерные цепи конструкторские, технологические и измерительные. Расчет конструкторской размерной цепи ставится задача обеспечения необходимой точности при конструировании изделий, технологиче-

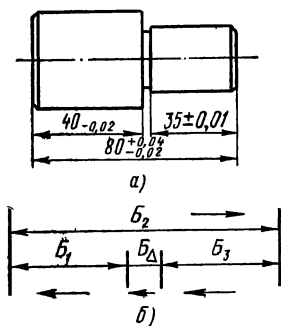


Рис. 108. Подетальная линейная размерная цепь:
а — эскиз детали с размерами, б — схема размерной цепи

ской — при изготовлении деталей и сборке изделий, а измерительной — обеспечение нужной точности при измерении различных величин, характеризующих точность деталей и сборочных единиц. Конструкторские размерные цепи делятся на поддетальные и сборочные.

Размерная цепь, определяющая относительное положение и точность поверхностей у одной детали, называется поддетальной (рис. 108).

Размерная цепь в сборочном чертеже, размеры которой принадлежат разным деталям, называется сборочной (рис. 109). Эти цепи включают в себя не более чем по одному размеру каждой из участвующих в ней деталей и, кроме того, имеют собственное звено (чаще всего в виде зазора или натяга), называемое замыкающим звеном размерной цепи.

Размеры цепи называются звеньями, для удобства расчетов они выносятся из чертежа и изображаются графически так, как это показано на рис. 108, б и рис. 109, б.

Как известно из правил черчения, размеры в рабочем чертеже детали не должны составлять замкнутую цепочку, поэтому на рис. 108, а размер выточки у детали не показан. Но в графическом изображении цепочка размеров показывается замкнутой контуром и размер выточки показан для расчета (см. рис. 108, б).

В цепи различают два вида звеньев: составляющие, которые получаются непосредственно при изготовлении детали, и замыкающие, которые получаются последними при изготовлении детали (в поддетальной цепи) или при сборке сборочной единицы машины (в сборочной цепи)

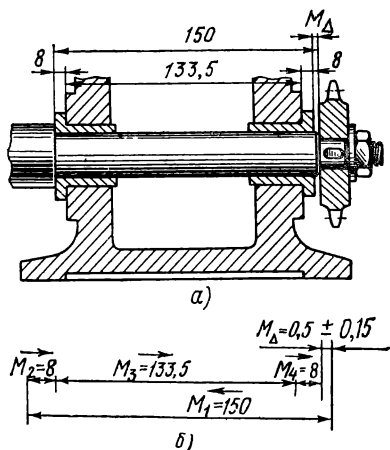


Рис. 109. Сборочная линейная размерная цепь:

а — узел механизма с размерами, б — схема размерной цепи

и величины которых зависят от величины всех остальных звеньев.

Все составляющие звенья обозначаются какой-либо одной прописной буквой русского алфавита с номером по порядку (см. рис. 108, б).

Порядковые номера звеньев обычно ставят от замыкающего звена по ходу часовой стрелки. Замыкающее звено имеет вместо порядкового номера знак Δ .

Составляющие звенья цепи по-разному влияют на замыкающее звено: если от увеличения составляющего звена увеличивается и замыкающее звено, то такое составляющее звено называется *увеличивающим*; если от увеличения составляющего звена замыкающее звено уменьшается, то такое составляющее звено называется *уменьшающим*. На рис. 109 замыкающим звеном будет размер $B\Delta$ (он получается при обработке последним), увеличивающим звеном будет B_2 , а уменьшающими звеньями будут B_1 и B_3 .

По расположению звеньев цепи подразделяются на линейные (звенья параллельны); плоские (звенья расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях), пространственные (размеры расположены в непараллельных плоскостях). Кроме линейных размерных цепей имеют место еще угловые, все звенья которых являются угловыми величинами.

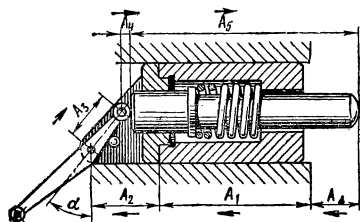


Рис. 110. Сборочная пространственная размерная цепь

Наибольшее распространение имеют плоские линейные размерные цепи, поэтому основные взаимосвязи звеньев и расчет допусков будут изложены применительно к ним. Расчет пространственных размерных цепей усложняется тем, что при непараллельности звеньев их значения придется

проектировать на направление замыкающего звена. На рис. 110 видно, что проекция звена A_3 , расположенного к направлению замыкающего звена под углом α , равна $A_3 \cos \alpha$.

Основное свойство размерной цепи — это замкнутость размерного контура и влияние на любое звено цепи отклонений по другим звеньям.

Рассмотрим это свойство на примере размерной цепи, изображенной на рис. 108.

1. Номинальное значение замыкающего звена этой цепи равно разности между суммой номинальных значений увеличивающих звеньев и суммой номинальных значений уменьшающих звеньев, т. е.

$$B_{\Delta} = B_2 - (B_1 + B_3) = 80 - (40 + 35) = 5 \text{ мм.}$$

2. Верхнее отклонение $\Delta_{B_{\Delta}}$ замыкающего звена равно разности между суммой верхних отклонений увеличивающих звеньев и суммой нижних отклонений Δ_n уменьшающих звеньев:

$$\Delta_{B_{\Delta}} = \Delta_{B_2} - (\Delta_{n_{B_1}} + \Delta_{n_{B_3}}) = +0,04 - [-0,02 + (-0,01)] = +0,07 \text{ мм.}$$

3. Нижнее отклонение $\Delta_{B_{\Delta}}$ замыкающего звена равно разности между суммой нижних отклонений увеличивающих звеньев и суммой верхних отклонений уменьшающих звеньев:

$$\Delta_{n_{B_{\Delta}}} = \Delta_{n_{B_2}} - (\Delta_{B_{B_1}} + \Delta_{B_{B_3}}) = -0,02 - (0 + 0,01) = -0,03 \text{ мм.}$$

4. Допуск замыкающего звена $T_{B_{\Delta}}$ равен сумме допусков всех составляющих звеньев:

$$T_{B_{\Delta}} = T_{B_1} + T_{B_2} + T_{B_3} = 0,02 + 0,02 + 0,06 = 0,1 \text{ мм,}$$

т. е. замыкающее звено воспринимает все погрешности составляющих звеньев и, следовательно, за замыкающее звено должен приниматься менее ответственный размер.

Сопоставим полученную сумму допусков с допуском замыкающего звена B_{Δ} , у которого номинальное значение 5 мм:

$$\Delta_{B_{B_1}} = +0,07 \text{ мм, } \Delta_{n_{B_{\Delta}}} = -0,03, \text{ а допуск } T_{B_{\Delta}} = 0,1 \text{ мм.}$$

Расчет размерных цепей сводится к решению одной из двух задач, называемых прямой и обратной. По прямой задаче на основе заданных требований к величине замыкающего звена рассчитывают все данные составляющих звеньев (отклонения, допуски). При обратной задаче рассчитывают предельные отклонения и допуск на замыкающее звено по заданным отклонениям

и допускам на все составляющие звенья. ГОСТ 16320—70 предусматривает два метода расчета размерных цепей: метод полной взаимозаменяемости, основанный на расчете на максимум — минимум и вероятностный и пять методов достижения точности замыкающего звена, осуществляемых полной взаимозаменяемостью, неполной взаимозаменяемостью, групповой взаимозаменяемостью, регулированием и пригонкой.

§ 2. Расчет размерных цепей на максимум — минимум

Наиболее простым является решение на максимум — минимум обратной задачи с использованием следующей взаимосвязи между предельными значениями звеньев цепи и их предельными отклонениями:

а) наибольшее предельное значение замыкающего звена равно разности между суммой наибольших предельных значений увеличивающих звеньев и суммой предельных значений уменьшающих звеньев;

б) наименьшее предельное значение замыкающего звена равно разности между суммой наименьших предельных значений увеличивающих звеньев и суммой наибольших предельных значений уменьшающих звеньев.

Для цепи, показанной на рис. 108, расчет наибольшего и наименьшего значений замыкающего звена B_{Δ} представляется так:

$$B_{\Delta}^{нб} = B_3^{нб} - (B_1^{нм} + B_2^{нм}) = 80,04 - (39,98 + 34,99) = 5,07 \text{ мм},$$

$$B_{\Delta}^{нм} = B_3^{нм} - (B_1^{нб} + B_2^{нб}) = 79,98 - (40 + 35,01) = 4,97 \text{ мм}.$$

По ГОСТ 16320—70 верхнее и нижнее отклонения определяются через координаты середин полей допусков Δ_0 . Расположение координаты середины поля допуска показано на рис. 111.

$$\Delta_0 = \frac{\Delta_B + \Delta_H}{2}; \quad \Delta_B = \Delta_0 + \frac{T}{2}; \quad \Delta_H = \Delta_0 - \frac{T}{2};$$

тогда

$$\Delta_{B_{B_{\Delta}}} = \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_{0_{B_i}} \xi + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} T_{B_i}}{2};$$

$$\Delta_{н Б\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_{0 Б_i} \xi - \frac{\sum_{i=1}^{m-1} T_{Б_i}}{2},$$

где m — число звеньев цепи; ξ — коэффициент, равный для увеличивающих звеньев $+1$ и для уменьшающих -1 :

$$\Delta_{0 Б\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_{0 Б_i} \xi.$$

Для размерной цепи, изображенной на рис. 108:

$$T_{Б\Delta} = T_{Б_1} + T_{Б_2} + T_{Б_3} = 0,02 + 0,02 + 0,06 = 0,1 \text{ мм};$$

$$\Delta_{0 Б_1} = \frac{0 - 0,02}{2} = -0,01 \text{ мм}; \quad \Delta_{0 Б_2} = \frac{+0,04 - 0,02}{2} = +0,01 \text{ мм}; \quad \Delta_{0 Б_3} = \frac{+0,01 - 0,01}{2} = 0.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \Delta_{0 Б\Delta} &= \Delta_{0 Б_1} \xi + \Delta_{0 Б_2} \xi + \Delta_{0 Б_3} \xi = \\ &= -0,01(-1) + 0,01(+1) = 0,02 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\Delta_{в Б\Delta} = \Delta_{0 Б_1} + \frac{T_{Б\Delta}}{2} = +0,02 + \frac{0,1}{2} = +0,07 \text{ мм};$$

$$\Delta_{н Б\Delta} = \Delta_{0 Б\Delta} - \frac{T_{Б\Delta}}{2} = +0,02 - \frac{0,1}{2} = 0,03 \text{ мм},$$

$$\text{т. е. } Б\Delta = 5 \begin{smallmatrix} +0,07 \\ -0,03 \end{smallmatrix}.$$

Расчет допусков размерной цепи на максимум — минимум обеспечивает полную взаимозаменяемость. В этом случае даже при самых неблагоприятных сочетаниях размеров в цепи, т. е. когда увеличивающие звенья будут иметь наибольшие предельные значения, а уменьшающие только наименьшие предельные значения и, наоборот, обеспечивается предписанная точность замыкающего звена без подбора или пригонки деталей.

При наличии таких сочетаний очевидно, что замыкающий размер может иметь два крайних возможных значения — наибольшее и наименьшее.

При прямой задаче для сборочной цепи чаще всего задается значение и допуск замыкающего звена, тогда расчет допусков на все звенья цепи, т. е. определение для них качества, считается прямой задачей (см.

рис. 109). В этом случае замыкающее звено называется также исходным звеном.

Определение квалитета для составляющих звеньев цепи основано на общей формуле, принятой для определения допусков (см. гл. II, § 2). Так как $T=ai$, то при заданном допуске T можно определить квалитет по значению коэффициента a по формуле $a = \frac{T}{i}$, где буква i — единица допуска, значения которой для размеров от 1 до 500 мм приведены в приложении XII.

Так как в цепи не один размер, а несколько (B_1, B_2 и т. д.), то среднюю точность всех звеньев цепи, если принять, что все они могут быть изготовлены по одному квалитету, определяют по коэффициенту a :

$$a = \frac{T_{B\Delta}}{\sum_{i=1}^{m-1} i}$$

Найденное значение a сравнивают со значениями, принятыми для каждого квалитета (см. табл. 1), и выбирают ближайший. По выбранному квалитету выписывают для каждого звена допуски из стандартных таблиц (приложение II) и проверяют соблюдение условий полной взаимозаменяемости. Это условие заключается в том, что допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех остальных звеньев цепи. Если сумма допусков по выбранному квалитету окажется больше или меньше допуска, заданного на замыкающее звено, то уменьшают или увеличивают допуск одного из звеньев цепи на величину разности, определяют его координату и предельные отклонения.

Пример. Определить допуски на все звенья цепи, изображенной на рис. 109, б, если замыкающее звено M_Δ задано в виде $0,5 \pm 0,15$. В этом случае допуск замыкающего звена T_{M_Δ} равен 0,30 мм (300 мкм).

В формулу $a = \frac{T_{M_\Delta}}{i_{M_1} + i_{M_2} + i_{M_3} + i_{M_4}}$ подставляем значения i и подсчитываем значение коэффициента a :

$$a = \frac{300}{(2,52 + 0,9 + 2,52 + 0,9)} \approx 44 \text{ ед.}$$

Сравнивая полученное значение a , равное 44, со значениями, имеющимися в табл. 1, находим, что ближай-

шим качеством является ИТ9. Так как увеличивающее звено $M_1=150$ мм по обработке относится к отверстию (отклонение со знаком «+»), то для него берем допуск как для основного отверстия (по Н9), а на уменьшающие звенья (размеры 8 и 133,5 на рис. 109) как для основного вала (h9).

В этом случае размеры в чертежах будут представлены с условными обозначениями допусков в виде: $M_1=150H9$; $M_2=8h9$; $M_3=133,5h9$, $M_4=8h9$. Выписанные из стандарта (приложение II) допуски имеют значения в микрометрах: 100; 22; 100; 22.

Так как сумма стандартных допусков на все звенья $100+22+100+22=244$ мкм (или 0,244 мм), а установленный конструктором допуск на замыкающее звено равен 0,300 мм, т. е. больше полученной суммы допусков на 0,056 мм ($0,300-0,244=0,056$), то увеличиваем допуск размера 150 мм на 0,056 мм и берем его равным 156 мкм. Считаем, что координата $\Delta_{0_{M_1}}$ не известна и определяем ее из уравнения:

$$\Delta_{0_{M_\Delta}} = \Delta_{0_{M_1}} \xi + \Delta_{0_{M_2}} \xi + \Delta_{0_{M_3}} \xi + \Delta_{0_{M_4}} \xi.$$

Координаты всех составляющих звеньев подсчитываем исходя из полученных отклонений:

$$\Delta_{0_{M_\Delta}} = \frac{+150 - 150}{2} = 0; \quad \Delta_{0_{M_2}} = \Delta_{0_{M_4}} = \frac{0 - 22}{2} = -11 \text{ мкм.}$$

$$\Delta_{0_{M_3}} = \frac{0 - 100}{2} = -50 \text{ мкм.}$$

Тогда

$$0 = \Delta_{0_{M_\Delta}} - 11(-1) - 50(-1) - 11(-1) = \Delta_{0_{M_1}} + 11 + 50 + 11.$$

Отсюда $\Delta_{0_{M_1}} = 72$ мкм;

$$\Delta_{B_{M_1}} = \Delta_{0_{M_1}} + \frac{T_{M_1}}{2} = -72 + \frac{156}{2} = 6 \text{ мкм;}$$

$$\Delta_{H_{M_1}} = \Delta_{0_{M_1}} - \frac{T_{M_1}}{2} = -72 - 78 = -150 \text{ мкм.}$$

Проверяем правильность назначения верхних отклонений

$$\Delta_{B_{M_\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_{0_{M_i}} \xi + \frac{\sum_{i=1}^{m-1} T_{B_i}}{2}.$$

Подставляя значения в уравнение, получим

$$+150 = -72(+1) - 11(-1) - 50(-1) - 11(-1) + \frac{300}{2};$$

$$\text{т. е. } +150 = +150.$$

Проверяем правильность назначения нижних отклонений

$$\Delta_{\Pi_{M\Delta}} = \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_{0_{M_i}} \xi - \frac{\sum_{i=1}^{m-1} T_{E_i}}{2}$$

$$-150 = -72 + 11 + 50 + 22 - \frac{300}{2}.$$

Получаем: $-150 = -150$, т. е. отклонения найдены верно и, следовательно, в чертеже значения размеров всех звеньев будут представлены с отклонениями в виде

$$150_{-0,150}^{+0,006} \quad 8_{-0,022} \quad \text{и} \quad 133,5_{-0,10}.$$

Метод расчета на максимум — минимум обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей, облегчает процесс сборки и ремонта машин и упрощает систему снабжения запасными частями. Но при этом методе расчета приходится назначать очень малые допуски на все звенья цепи, что усложняет производство изделий и удорожает себестоимость их. Поэтому в машиностроении все большее распространение получает метод неполной взаимозаменяемости.

Наиболее ответственным является расчет допусков сборочной размерной цепи, когда ставится задача получения замкнутости цепи при одновременном обеспечении взаимозаменяемости деталей и их технологичности. В этом случае технологичность определяется величинами допусков на размеры цепи.

Правильное решение размерных цепей имеет важное значение для производства. Ошибки в расчетах размерных цепей приводят к несобираемости сборочных единиц или несобираемости машин в целом, а при получении малых допусков на обработку деталей усложняется производственный процесс и удорожается себестоимость изделий.

§ 3. Понятие о расчете допусков на базе теории вероятностей

Расчет допусков размерных цепей на базе теории вероятностей принимается при предположении, что деталей с предельными значениями размеров при обработке может быть очень малое количество (1—5 %) и вероятность поставки при сборке в одно изделие вала с наибольшим предельным размером, а втулки с наименьшим отверстием (или, наоборот, у отверстия самый большой размер, а у вала самый маленький), ничтожно мала. Исходя из этого предположения, допуски на обработку деталей для всех звеньев цепи увеличивают, и поэтому допуск замыкающего звена не будет равным сумме допусков всех составляющих звеньев.

В основу теоретического расчета допусков на звенья цепи берут известную теорему умножения из теории вероятностей, основанную на том, что вероятность совпадения всех случайных событий равна произведению их вероятностей (см. гл. X).

Так как вероятность выражается числом от 0 до 1, то вероятность совпадения отдельных случайных событий практически будет очень малой.

Рассмотрим это на примере размерной цепи, решенной по методу полной взаимозаменяемости (см. рис. 109, б и пример в § 2). При допусках для всех звеньев цепи, взятых по качеству *IT*9, замыкающее звено будет в пределах 0,35—0,65 мм. Следовательно, наибольшее значение замыкающего звена будет равно 0,65 мм, но оно возможно, если в одном механизме окажется увеличивающее звено M_1 с наибольшим предельным значением, т. е. с размером 150,006, а уменьшающие звенья только с наименьшими предельными значениями размеров, т. е. $M_2=7,978$; $M_3=133,4$; $M_4=7,978$ мм, тогда:

$$\begin{aligned} M_{\Delta}^{\text{нб}} &= 0,65 = M_1^{\text{нб}} - (M_2^{\text{нм}} + M_3^{\text{нм}} + M_4^{\text{нм}}) = \\ &= 150,006 - (7,978 + 133,4 + 7,918). \end{aligned}$$

Принимая, что размеры при изготовлении деталей распределяются по закону нормального распределения, допустим, что вероятность получения деталей с предельными значениями размеров, т. е. на границах допуска, не превышает 0,03 или 3 %. При этих условиях вероятность сборки механизма с наибольшим значением замыкающего звена, равным 0,65 мм, будет ничтожно малой.

Так как вероятность появления деталей при изготовлении с предельными размерами принята нами равной 0,03, то вероятность появления замыкающего звена со значением 0,65 мм будет равна $0,03 \cdot 0,03 \cdot 0,03 \cdot 0,03 = 0,0000008$.

Значение вероятности 0,0000008 для данного случая означает, что при сборке на заводе 10 млн. подобных механизмов только у 8 может оказаться значение замыкающего звена, равное наибольшему допускаемому значению, т. е. 0,65 мм.

При расчете допусков размерных цепей на базе теории вероятностей, учитывая малую вероятность появления в одном механизме (машине) деталей с предельными значениями размеров, допуски на все звенья цепи увеличивают, рискуя при этом выпустить несколько машин, у которых значение замыкающего звена выйдет из пределов, установленных расчетом по методу полной взаимозаменяемости. Количество таких машин в процентах устанавливается до расчета допусков на все звенья и может быть сколь угодно малым. Но чем больше этот процент, тем больше могут быть назначены допуски на все звенья цепи. ГОСТ 16320—70 для вероятностного расчета допусков размерных цепей предлагает следующие значения риска в %: 0,01; 0,1; 0,27; 1; 4,5; 10 и 32.

Если к решенной размерной цепи (рис. 109) на максимум — минимум применить вероятностный метод расчета с риском 0,27 %, то допуски на все звенья цепи можно увеличить в два раза. В этом случае допуск на замыкающее звено останется заданный 0,30 мм ($0,5 \pm \pm 0,15$), а сумма допусков звеньев M_1 , M_2 , M_3 и M_4 может составлять 0,5 мм. Риск 0,27 % означает, что среди собранных 10 000 изделий, возможно, в 27 из них (приближенно в 3 на 1000) значение замыкающего звена немного выйдет из установленных пределов (0,35—0,65).

В стандарте отмечается, что если требуется в размерных цепях 100 %-ная взаимозаменяемость, то допуски должны рассчитываться только по методу максимума — минимума.

§ 4. Понятия о методах регулирования, группировки и пригонки звеньев размерной цепи

Эти методы обеспечивают заданную точность замыкающего звена при относительно больших допусках на все остальные звенья цепи.

При методе регулирования в цепи выделяется компенсирующее звено — компенсатор, а метод группировки основан на селективной сборке (см. гл. II § 9).

Применяемые методы расчета размерных цепей на основе использования компенсаторов или селективной сборки, или пригонки обеспечивают заданную точность замыкающего звена при относительно больших допусках на все остальные звенья. Но в этом случае допуск замыкающего звена не может быть равным сумме допусков всех остальных звеньев. Компенсатор — это новое звено в размерной цепи. Это звено может быть в виде отдельной детали (шайбы, втулки, прокладки и т. п.), пружины (упругий компенсатор), винтовой пары, эксцентрика или зубчатой передачи (регулируемые компенсаторы). Компенсаторы обеспечивают высокую точность замыкающего звена, но они увеличивают количество деталей в машине.

При селективной сборке детали, изготовленные с большими допусками, сортируют по размерам на группы (см. § 2) с последующим групповым подбором двух деталей или одной детали при сборке для обеспечения заданной точности замыкающего звена. Этот способ в основном находит широкое применение при небольшом числе звеньев в цепи, например при необходимости получения точной посадки вала в отверстии подшипника. В этом случае замыкающим звеном будет заданный зазор или натяг, а составляющими звеньями — диаметры вала или отверстия втулки.

Метод расчета размерных цепей с учетом пригонки заключается в том, что допуски на все звенья цепи назначают технологически приемлемые, а требующуюся точность замыкающего звена обеспечивают пригонкой при сборке одного из звеньев цепи, т. е. дополнительной обработкой его по заданному размеру. Недостатками данного способа решения размерной цепи являются отсутствие полной взаимозаменяемости и, главное, загрязнение рабочих сборочных мест стружкой или металлической пылью.

Вопросы для повторения

1. Что называется размерной цепью и какие бывают цепи по расположению звеньев?
2. Какое звено в цепи называется замыкающим и в какой связи оно находится с увеличивающим и уменьшающим звеном?

3. Чем различаются прямая и обратная задачи при расчете допусков на звенья цепи?

4. В какой связи находятся верхнее и нижнее отклонения замыкающего звена с верхним и нижним отклонениями увеличивающих и уменьшающих звеньев?

5. В какой связи находятся допуск замыкающего звена и допуски звеньев, составляющих цепь при методе полной взаимозаменяемости?

6. В чем заключается сущность расчета допусков размерных цепей с применением: а) селективной сборки; б) компенсаторов; в) пригонки одного из звеньев цепи при сборке сборочной единицы?

7. Назовите преимущества расчета допусков размерной цепи на базе теории вероятностей.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Нормальные линейные размеры, мм

Ряды				Дополнительные размеры
<i>Ra5</i>	<i>Ra10</i>	<i>Ra20</i>	<i>Ra40</i>	
1,0	1,0	1,0	1,0	
			1,05	
		1,1	1,1	
			1,15	
	1,2	1,2	1,2	1,25
			1,3	1,35
		1,4	1,4	1,45
			1,5	1,55
1,6	1,6	1,6	1,6	
			1,7	
		1,8	1,8	1,65
			1,9	1,75
	2,0	2,0	2,0	1,85
			2,1	1,95
		2,2	2,2	2,05
2,5	2,5	2,5	2,5	
			2,6	2,7
		2,8	2,8	2,9
			3,0	3,1
	3,2	3,2	3,2	
			3,4	3,3
		3,6	3,6	3,5
			3,8	3,7
4,0	4,0	4,0	4,0	4,1
			4,2	4,4
		4,5	4,5	4,6
			4,8	4,9

Ряды				Дополнительные размеры
Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	
5,0	5,0	5,0	5,0	5,2
			5,3	5,5
		5,6	5,6	5,8
			6,0	6,2
6,3	6,3	6,3	6,3	6,5
			6,7	7,0
		7,1	7,1	7,3
			7,5	7,8
	8,0	8,0	8,0	8,2
			8,5	8,8
		9,0	9,0	9,2
			9,5	9,8
10	10	10	10	10,2
			10,5	10,8
		11	11	11,2
			11,5	11,8
	12	12	12	12,5
			13	13,5
		14	14	14,5
			15	15,5
16	16	16	16	16,5
			17	
		18	18	17,5
			19	18,5
	20	20	20	19,5
			21	20,5
		22	22	21,5
			24	23
25	25	25	25	27
			26	29
		28	28	31
			30	
	32	32	32	33
			34	35
		36	36	37
			38	39

Ряды				Дополнительные размеры
Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	
40	40	40	40	41
			42	44
		45	45	46
			48	49
	50	50	50	52
			53	55
		56	56	58
			60	62
63	63	63	63	65
			67	70
		71	71	73
			75	78
	80	80	80	82
			85	88
		90	90	92
			95	98
100	100	100	100	102
			105	108
		110	110	112
			120	115
	125	125	125	118
			130	135
		140	140	145
			150	155
160	160	160	160	165
			170	175
		180	180	185
			190	195
	200	200	200	
			210	205
		220	220	215
			240	230
250	250	250	250	270
			260	290
		280	280	310
			300	315
	320	320	320	330
			340	350
		360	360	370
			380	390

Ряды				Дополнительные размеры
Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	
400	400	400	400	410
			420	440
		450	450	460
			480	490
	500	500	500	515
			530	545
		560	560	580
			600	615
630	630	630	630	650
			670	690
		710	710	730
			750	775
	800	800	800	825
			850	875
		900	900	925
			950	975
1000	1000	1000	1000	1030
			1060	1090
		1120	1120	1150
			1180	1220
	1250	1250	1250	1280
			1320	1360
		1400	1400	1450
			1500	1550
1600	1600	1600	1600	1650
			1700	1750
		1800	1800	1850
			1900	1950
	2000	2000	2000	2060
			2120	2180
		2240	2240	2300
			2360	2430
2500	2500	2500	2500	2580
			2650	2720
		2800	2800	2900
			3000	3070
	3150	3150	3150	3250
			3350	3450
		3550	3550	3650
			3750	3870

Значения допусков, мкм

Квалитет	Для интервалов размеров, мм												
	до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
01	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2	2,5	3	4
0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6
1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
17	1000	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	4700	6300

Предпочтительные поля допусков

Интервал размеров, мм	Обозначения полей допусков					
	<i>g6</i>	<i>h6</i>	<i>j_s6</i>	<i>k6</i>	<i>n6</i>	<i>p6</i>
	Равные и близкие					
	Д	В = С	П	Н	Г	Пл
От 1 до 3	-2 -8	0 -6	+3 -3	+6 0	+10 +4	+12 +6
Св. 3 » 6	-4 -12	0 -8	+4 -4	+9 +1	+16 +8	+20 +12
» 6—10	-5 -14	0 -9	+4,5 -4,5	+10 +1	+19 +10	+24 +15
» 10—18	-6 -17	0 -11	+5,5 -5,5	+12 +1	+23 +12	+29 +18
» 18—30	-7 -20	0 -13	+6,5 -6,5	+15 +2	+28 +15	+35 +22
» 30—50	-9 -25	0 -16	+8 -8	+18 +2	+33 +17	+42 +26
» 50—65	-10	0	+9,5	+21	+39	+51
» 65—80	-29	-19	-9,5	+2	+20	+32
» 80—100	-12	0	+11	+25	+45	+59
» 100—120	-34	-22	-11	+3	+23	+37
» 120—140	-14	-0	+12,5	+28	+52	+68
» 140—160	-39	-25	-12,5	+3	+27	+43
» 160—180						

валов для размеров от 1 до 180 мм

и предельные отклонения, мкм

r_6	s_6	f_7	h_7	e_8	h_8	d_9	h_9	d_{11}	h_{11}
поля допусков системы ОСТ									
Пр	Пр	X	$B_{2a}=C_{2a}$	Л	$B_3=C_3$	Π_3	$B_3=C_3$	X_4	$B_4=C_4$
+16 +10	+20 +14	-6 -16	0 -10	-14 -18	0 -14	-20 -45	0 -25	-20 -80	0 -60
+23 +15	+27 +19	-10 -22	0 -12	-20 -38	0 -18	-30 -60	0 -30	-30 -105	0 -75
+28 +19	+32 +23	-13 -28	0 -15	-25 -47	0 -22	-40 -76	0 -36	-40 -130	0 -90
+34 +23	+39 +28	-16 -34	0 -18	-32 -59	0 -27	-50 -93	0 -43	-50 -160	0 -110
+41 +28	+48 +35	-20 -41	0 -21	-40 -73	0 -38	-65 -117	0 -52	-65 -195	0 -130
+50 +34	+59 +43	-25 -50	0 -25	-50 -89	0 -39	-80 -142	0 -62	-80 -240	0 -160
+60 +41	+72 +53	-30	0	-60	0	-100	0	-100	0
+62 +43	+78 +59	-60	-30	-106	-46	-174	-74	-290	-190
+73 +51	+93 +71	-36	0	-76	0	-120	0	-120	0
+76 +54	+101 +79	-71	-35	-126	-54	-207	-87	-340	-220
+88 +63	+117 +92	-43	0	-85	0	-145	0	-145	0
+90 +65	+125 +100	-83	-40	-148	-63	-245	-100	-395	-250
+93 +68	+133 +108								

Предпочтительные поля допусков отверстий для размеров от 1 до 180 мм

Интервал размеров, мм	Обозначения полей допусков и предельные отклонения, мкм									
	H7	J _s 7	K7	N7	P7	F8	H8	E9	H9	H11
	Равные и близкие поля допусков системы ОСТ									
	A=C	П	H	Г	Пл	Х	A _{2a} = =C _{2a}	Х _в	A ₃ = =C ₃	A ₄ = =G ₄
От 1 до 3	+10 0	+5 -5	0 -10	-4 -14	-6 -16	+20 +6	+14 0	+39 +14	+25 0	+60 0
Св. 3 » 6	+12 0	+6 -6	+3 -9	-4 -16	-8 -20	+28 +10	+18 0	+50 +20	+30 0	+75 0
» 6 » 10	+15 0	+7 -7	+5 -10	-4 -19	-9 -24	+35 +13	+22 0	+61 +25	+36 0	+90 0
» 10 » 18	+18 0	+9 -9	+6 -12	-5 -23	-11 -29	+43 +16	+27 0	+75 +32	+43 0	+110 0
» 18 » 30	+21 0	+10 -10	+6 -15	-7 -28	-14 -35	+53 +20	+33 0	+92 +40	+52 0	+130 0
» 30 » 50	+25 0	+12 -12	+7 -18	-8 -33	-17 -42	+64 +25	+39 0	+112 +50	+62 0	+160 0
» 50 » 80	+30 0	+15 -15	+9 -21	-9 -39	-21 -51	+76 +30	+46 0	+134 +60	+74 0	+190 0
» 80 » 120	+35 0	+17 -17	+10 -25	-10 -45	-24 -59	+90 +36	+54 0	+159 +72	+87 0	+220 0
» 120 » 180	+40 0	+20 -20	+12 -28	-12 -52	-28 -68	+106 +43	+63 0	+185 +85	+100 0	+250 0

Допуски и отклонения на калибры из СТ СЭВ 157—75
(для 1Т6, 1Т7, 1Т8): по Z, Y, H для отверстий
и по Z₁, Y₁, H₁ для валов

Интервалы размеров	Ква- литеты	Допуски и отклонения, мкм						
		обозначения						
		Z	Y	H	Z ₁	Y ₁	H ₁	α, α ₁
До 3 мм	6	1	1	1,2	1,5	1,5	2	
	7	1,5	1,5	2	1,5	1,5	2	
	8	2	3	2	2	3	3	
Св. 3 до 6	6	1,5	1	1,2	1,5	1,5	2	
	7	1,5	1,5	2	1,5	1,5	2	
	8	2	3	2,5	2	3	4	
» 6 » 10	6	1,5	1	1,5	2	1,5	2,5	
	7	2	1,5	2,5	2	1,5	2,5	
	8	3	3	2,5	3	3	4	
» 10 » 18	6	2	1,5	2	2	2,5	3	
	7	2,5	2	3	2,5	2	3	
	8	4	4	3	4	4	5	
» 18 » 30	6	2	1,5	2,5	3	3	4	
	7	3	3	4	3	3	4	
	8	5	4	4	5	4	6	
» 30 » 50	6	2,5	2	2,5	3,5	3	4	
	7	3,5	3	4	3,5	3	4	
	8	6	5	4	6	5	7	
» 50 » 80	6	2,5	2	3	4	3	5	
	7	4	3	5	4	3	5	
	8	7	5	5	7	5	8	
» 80 » 120	6	3	3	4	5	4	6	
	7	5	4	6	5	4	6	
	8	8	6	6	8	6	10	
» 120 » 180	6	4	3	5	6	4	8	
	7	6	4	8	6	4	8	
	8	9	6	8	9	6	12	
От 180 до 250	6	5	4	7	7	5	10	2
	7	7	6	10	7	6	10	3
	8	12	7	10	12	7	14	4

Отклонения по параметрам резьбы (из ГОСТ 16093—70)

Шаг резьбы P , мм	Номинальный размер резьбы d , мм	Предельные отклонения диаметров резьбы, мкм, болтов 6H и 8g и гаек 6H и 7H мкм									
		6g		8g			6H		7H		
		верхнее e_s	нижнее e_l	верхнее e_s	нижнее e_l		верхнее e_s		верхнее e_s		
		d, d_1, d_2	d	d_2	d, d_1, d_2	d	d_2	d_1	D_2	D_1	D_1
1,0	Св. 5,6 до 11,2			—138			—206		+150		+190
	» 11,2 » 22,4			—144			—216		+160		+200
	» 22,4 » 45,0	—26	—206	—151	—26	—306	—226	+236	+170		+212
	» 45,0 » 90,0			—166			—250		+190		+236
1,25	» 5,6 » 11,2	—28	—240	—146	—28	—363	—218		+160	+265	+200
	» 11,2 » 22,4			—160			—240		+180		+224

1,5	Св. 5,6 до 11,2			-164			-244	+180		+224	+375
	» 11,2 » 22,4			-172			-256	+190		+236	
	» 22,4 » 45,0	-32	-268	-182	-32	-407	-268	+200	+300	+250	
	» 45,0 » 90,0			-192			-282	+212		+265	
	» 90,0 » 180,0			-202			-297	+224		+280	
1,75	» 11,2 » 22,4	-34	-299	-184	-34	-459	-270	+200	+335	+250	+425
2,0	» 11,2 » 22,4			-198			-288	+212		+265	+475
	» 22,4 » 45,0			-208			-303	+224		+280	
	» 45,0 » 90,0	-38	-318	-218	-38	-488	-318	+236	+375	+300	
	» 90,0 » 180,0			-228			-338	+250		+315	
	» 180,0 » 355,0			-250			-373	+280		+355	
2,5	» 11,2 » 22,4	-42	-377	-212	-42	-572	-307	+224	+450	+280	+560

Шаг резьбы P , мм	Номинальный размер резьбы d , мм	Предельные отклонения диаметров резьбы, мм, болтов 6 g и 8 g и гаек 6 H и 7 H мм									
		6 g		8 g		6 H		7 H			
		верхнее es	нижнее ei	верхнее es	нижнее ei	d, d_1, d_2	d	d_2	d_1		
3,0	Св. 22,4 до 45,0		—248				—363	+265		+335	
	» 45,0 » 90,0		—260				—383	+280		+335	
	» 90,0 » 180,0	48	—423	—48	—648	—403	+300	+500		+375	+630
	» 180,0 » 355,0		—298			—448	+335			+425	
3,5	» 11,2 » 22,4	—53	—478	—53	—723	—388	+280	+560	+355	+710	
4,0	» 22,4 » 45,0		—284			—415	+300		+375		
	» 45,0 » 90,0		—296			—435	+315		+400		
	» 90,0 » 180,0	—60	—535	—60	—810	—460	+335	+600	+425	+750	
	» 180,0 » 355,0		—340			—510	+375		+475		
	» 355,0 » 600,0		—360				+400		+500		

Примечание. Нижнее отклонение гаек (EI) 6 H и 7 H равно нулю.

Допуски углов из СТ СЭВ 178—75

Степени точности

Степени точности														
Интервал длин, мм	АТ6					АТ7					АТ8			
	АТ α	АТ α_1	АТD	АТ α	АТ α_1	АТD	АТ α	АТ α_1	АТD	АТ α	АТ α_1	АТD	АТ α	АТD
	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с
	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с	мкм	мкрад	мин; с
До 10	500	1'40"	5	800	2'30"	8	1250	4'	12,5					
Св. 10 до 16	400	1'20"	4—6,3	630	2'	6,3—10	1000	3'	10—16					
» 16 » 25	315	1'	5—8	500	1'40"	8—12,5	800	2'30"	12,5—20					
» 25 » 40	250	50"	6,3—10	400	1'20"	10—16	630	2'	16—25					
» 40 » 63	200	40"	8—12,5	315	1'	12,5—20	500	1'40"	20—32					
» 63 » 100	160	32"	10—16	250	50"	16—25	400	1'20"	25—40					
» 100 » 160	125	26"	12,5—20	200	40"	20—32	315	1'	32—50					
» 160 » 250	100	20"	16—25	160	32"	25—40	250	50"	40—63					
» 250 » 400	80	16"	20—32	125	26"	32—50	200	40"	50—80					
» 400 » 630	63	12"	25—40	100	20"	40—63	160	32"	63—100					
» 630 » 1000	50	10"	32—50	80	16"	50—80	125	26"	80—125					
» 1000 » 1600	40	8"	40—63	63	12"	63—100	100	20"	100—160					
» 1600 » 2500	31,5	6"	50—80	50	10"	80—125	80	16"	125—200					

Погрешности, допускаемые при измерении

Квалитеты	Номинальные											
	до 3		св. 3—6		св. 6—10		св. 10—18		св. 18—30		св. 30—50	
	Т	Δ	Т	Δ	Т	Δ	Т	Δ	Т	Δ	Т	Δ
	МКМ											
2	1,2	0,4	1,5	0,6	1,5	0,6	2,0	0,8	2,5	1,0	2,5	1,0
3	2,0	0,8	2,5	1,0	2,5	1,0	3,0	1,2	4,0	1,4	4,0	1,4
4	3,0	1,0	4,0	1,4	4,0	1,4	5,0	1,6	6,0	2,0	7,0	2,4
5	4,0	1,4	5,0	1,6	6,0	2,0	8,0	2,8	9,0	3,0	11	4,0
6	6,0	1,8	8,0	2,0	9,0	2,0	11	3,0	13	4	16	5,0
7	10,0	3,0	12	3,0	15	4,0	18	5,0	21	6,0	25	7,0
8	14	3,0	18	4,0	22	5,0	27	7,0	33	8,0	39	10
9	25	6,0	30	8,0	36	9,0	43	10	52	12	62	16
10	40	8,0	48	10	58	12	70	14	84	18	100	20
11	60	12	75	16	90	18	110	30	130	30	160	40
12	100	20	120	30	150	30	180	40	210	50	250	50
13	140	30	180	40	220	50	270	60	330	70	390	80
14	250	50	300	60	360	80	430	90	520	120	620	140
15	400	80	480	100	580	120	700	140	840	180	1000	200
16	600	120	750	160	900	200	1100	240	1300	280	1600	320
17	1000	200	1200	240	1500	300	1800	380	2100	440	2500	500

Примечание. Разрешается увеличение допускаемой погрешности измерения при разделении изделий на размерные группы для селективной сборки.

размеры, мм

св. 50—80		св. 80—120		св. 120—180		св. 180—250		св. 250—315		св. 315—400		св. 400—500	
T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ	T	Δ
3,0	1,2	4,0	1,6	5,0	2,0	7,0	2,8	8,0	3,0	9,0	3,0	10,0	4,0
5,0	1,8	6,0	2,0	8,0	2,8	10	4,0	12	4,0	13	5,0	15	5,0
8,0	2,8	10	3,0	12	4,0	14	5,0	16	5,0	18	6,0	20,0	6,0
13	4,0	15	5,0	18	6,0	20	7,0	23	8,0	25	9,0	27	9
19	5,0	22	6,0	25	7,0	29	8,0	32	10	36	10	40	12
30	9,0	35	10	40	12	46	12	52	14	57	16	63	18
46	12	54	12	63	16	72	18	81	20	89	24	97	26
74	18	87	20	100	30	115	30	130	30	140	40	155	40
80	30	140	30	160	40	185	40	210	50	230	50	250	50
190	40	220	50	250	50	290	60	320	70	360	80	400	80
300	60	350	70	400	80	460	100	520	120	570	120	630	140
460	100	540	120	630	140	720	160	810	180	890	180	970	200
740	160	870	180	1000	200	1150	240	1300	260	1400	280	1550	320
1200	240	1400	280	1600	320	1850	380	2100	440	2300	460	2500	500
1900	400	2200	440	2500	500	2900	600	3200	700	3600	800	4000	800
3000	600	3500	700	4000	800	4600	1000	5200	1100	5700	1200	6300	1400

рения, указанной в таблице, при уменьшении допуска размера, а также в слу-

Предельные погрешности измерения штангенинструментом, мкм

Диапазоны размеров, мм	Штангенциркули при изме- рении размеров				Штангенглубиномеры	
	наружных		внутренних			
	Отсчет по нониусу, мм					
	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1
От 1 до 10	100	150	150	200	100	200
Св. 10 » 50	100	150	150	200	100	250
» 50 » 80	100	200	200	250	150	300
» 80 » 120	100	200	200	250	150	300
» 120 » 180	100	200	200	300	150	300
» 180 » 260	100	200	200	300	150	300
» 260 » 360	100	200	250	300	150	300
» 360 » 500	100	250	250	300	—	300

Предельные погрешности измерения микрометром, мкм

Диапазон размеров, мм	Микрометры гладкие с вели- чиной отсчета 0,01 мм		Микрометры рычажные с ценой деления 0,002—0,01 мм	
	Температурный режим, °C			
	5°	5—2°*	5°	5—1°**
От 0 до 25	5	5	4	3
Св. 25 » 50	10	5	5	4
» 50 » 75	10	10	10	5
» 75 » 100	15	10	10	6
» 100 » 125	15	10	15	10
» 125 » 150	15	10	15	10
» 150 » 175	20	10	20	10
» 175 » 200	20	10	20	10
» 200 » 225	25	10	} 25	10
» 225 » 250	25	10		
» 250 » 275	30	10	} 30	10
» 275 » 300	30	15		

Диапазон размеров, мм	Микрометры гладкие с вели- чиной отсчета 0,01 мм		Микрометры рычажные с ценой деления 0,002—0,01 мм	
	Температурный режим, °C			
	5°	5—2°*	5°	5—1°**
От 300 до 400	40	15	40	10
Св. 400 » 500	50	20	50	10
Условия изме- рения	Прибор в руках	Прибор в стойке	Контакт любой	Контакт плоскостный

Температурный режим при измерении размеров:

* от 100 до 500 мм — 2° C;

** от 0 до 500 мм — 5° C; от 50 до 200 мм — 2° C и св. 200 мм — 1° C.

Приложение XI

**Предельные погрешности измерения индикаторами часового типа
с ценой деления 0,01 мм и рычажно-зубчатой головкой с ценой
деления 0,001 мм и с пределом измерения $\pm 0,05$ мм**

Диапазон размеров, мм	Индикаторы часового типа			Рычажно-зубчатые головки	
	Используемое перемещение стержня, мм				
	10	1 *	0,1 *	±0,05 **	± 0,03 ***
	Температурный режим, °C				
	5 °	5—1 °	5—1 °	2—0,5 °	2—0,2 °
От 1 до 3	20	10	5	2	1
Св. 3 » 6	20	10	5	2	1
» 6 » 10	20	10	5	2	1
» 10 » 18	20	10	5	2,5	1
» 18 » 30	20	10	10	2,5	1
» 30 » 50	20	10	10	2,5	1
» 50 » 80	20	10	10	2,5	1
» 80 » 120	20	10	10	2,5	1
» 120 » 180	25	10	10	3,0	1
» 180 » 260	30	10	10	4	1
» 260 » 360	30	10	10	—	—
» 360 » 500	40	10	10	—	—

Температурный режим для диапазона измеряемых размеров:

* 1—30 мм — 5°; от 30 до 120 мм — 2° и от 120 до 500 мм — 1°.

** 1—30 мм — 2°; от 30 до 120 мм — 1° и от 120 до 500 мм — 0,5°.

*** 1—30 мм — 2°; от 30 до 120 мм — 0,5° и от 120 до 500 мм — 0,2°.

Значения единицы допуска для размеров от 1 до 500 мм

	Интервалы диаметров, мм																									
	до 3	св. 3—6		св. 6 до 10		св. 10 до 18		св. 18 до 30		св. 30 до 50		св. 50 до 80		св. 80 до 120		св. 120 до 180		св. 180 до 250		св. 250 до 315		св. 315 до 400		св. 400 до 500		
<i>i</i>	0,55	0,73	0,9	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,9	3,23	3,54	3,89													

Литература

Балакшин Б. С. и др. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении.—М.: Машиностроение, 1972.

Берков В. И. Технические измерения (альбом).—М.: Высшая школа, 1977.

Ганевский Г. М. Краткое руководство по организации и проведению лабораторных работ по курсу «Допуски и технические измерения».—М.: Высшая школа, 1972.

Ганевский Г. М. Плакаты «Допуски и посадки».—М.: Машиностроение, 1973.

Дунии-Барковский И. В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения.—М.: Машиностроение, 1975.

Журавлев А. Н. Допуски и технические измерения.—М.: Высшая школа, 1978.

Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения.—М.: Машиностроение, 1979.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Основные сведения о размерах и сопряжениях в машиностроении	5
§ 1. Решения КПСС и Советского правительства о повышении качества промышленных изделий	5
§ 2. Понятия о погрешностях изготовления и измерения деталей	6
§ 3. Понятия о взаимозаменяемости в машиностроении	10
§ 4. Стандартизация и унификация и их роль в развитии взаимозаменяемости	12
§ 5. Понятия о предпочтительных (стандартных) числах и их роли в стандартизации и взаимозаменяемости	17
§ 6. Предельные отклонения и поля допусков	19
§ 7. Понятия о посадках	21
Глава II. Допуски и посадки гладких цилиндрических и плоских сопряжений	25
§ 1. Понятие о системе допусков и посадок	25
§ 2. Единая система допусков и посадок стран — членов СЭВ и признаки ее построения	26
§ 3. Понятия о посадках в системе отверстия и в системе вала	30
§ 4. Предпочтительные поля допусков и посадки	32
§ 5. Система допусков и посадок ОСТ	35
§ 6. Обозначение предельных отклонений и посадок на чертежах по ЕСДП СЭВ	39
§ 7. Выбор посадок	41
§ 8. Допуски и посадки подшипников качения	45
§ 9. Селективная сборка как мероприятие повышения точности посадок и удешевления производства	50
§ 10. Допуски свободных размеров и деталей из пластмасс	52
Глава III. Допуски на отклонения формы, расположения и шероховатость поверхности	54
§ 1. Понятия о номинальных, реальных и прилегающих поверхностях	54
§ 2. Отклонения и допуски формы	56
§ 3. Отклонения и допуски расположения	57
§ 4. Суммарные отклонения и допуски формы и расположения	61
§ 5. Нанесение отклонений формы и расположения поверхностей и осей на чертежах	64

§ 6.	Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей	69
§ 7.	Шероховатость поверхности и ее нормирование допусками	71
§ 8.	Обозначение шероховатости поверхности на чертежах	74
Глава IV.	Основы технических измерений	77
§ 1.	Понятие о метрологии и основные положения Государственной системы измерений (ГСИ)	77
§ 2.	Метрологические показатели измерительных средств и методы измерений	81
§ 3.	Понятия о погрешностях измерений, видах и источниках их	83
§ 4.	Способы повышения точности измерений и результата многократных измерений	85
§ 5.	Понятия об эталонах, поверочной схеме и порядке доведения значения эталона до производственных измерений	88
Глава V.	Средства для линейных измерений. Условия, определяющие их выбор	91
§ 1.	Плоскопараллельные концевые меры длины	91
§ 2.	Штангенинструменты	94
§ 3.	Микрометрические измерительные средства	98
§ 4.	Измерительные стрелочные отсчетные головки	103
§ 5.	Рычажные и индикаторные скобы, индикаторные нутромеры	112
§ 6.	Рычажно-оптические приборы	116
§ 7.	Пневматические длиномеры низкого и высокого давления	119
§ 8.	Калибры	122
§ 9.	Механизация и автоматизация контроля деталей	126
§ 10.	Измерительные средства активного контроля	132
§ 11.	Методы и средства контроля отклонений формы и расположения поверхностей	134
§ 12.	Контроль шероховатости поверхностей	142
§ 13.	Условия, определяющие выбор измерительных средств	147
Глава VI.	Допуски и средства измерения углов и конусов	151
§ 1.	Понятия о нормальных углах и конусностях и допусках на угловые размеры	151
§ 2.	Допуски и посадки конических соединений	153
§ 3.	Методы и средства измерения углов и конусов	162
§ 4.	Контроль конусов калибрами	167
Глава VII.	Допуски, посадки и средства измерения резьбовых соединений	168
§ 1.	Основные элементы метрической крепежной резьбы и допуски на них	168
§ 2.	Посадки резьб с гарантированными зазорами	171
§ 3.	Посадки резьб с гарантированными натягами и переходные	174
§ 4.	Контроль резьбы калибрами	178
§ 5.	Средства контроля отдельных параметров резьбы	184
Глава VIII.	Допуски, посадки и средства контроля шпоночных и шлицевых соединений	187

§ 1. Допуски и посадки прямобочных шлицевых соединений	187
§ 2. Допуски и посадки эвольвентных шлицевых соединений	190
§ 3. Допуски и посадки шпоночных соединений	193
§ 4. Калибры для контроля шлицевых соединений	194
Глава IX. Допуски и средства измерения зубчатых колес и передач	196
§ 1. Основные элементы зубчатых колес и передач	196
§ 2. Нормы точности цилиндрических зубчатых колес и передач	198
§ 3. Нормируемые параметры зубчатых передач	201
§ 4. Методы и средства измерения параметров зубчатых колес и передач	204
Глава X. О применении теории вероятностей в области взаимозаменяемости и контроля изделий	210
§ 1. Понятие о теории вероятностей	210
§ 2. Основные теоремы теории вероятностей	212
§ 3. Законы распределения случайных величин и их применение на производстве	214
§ 4. Влияние погрешностей измерения на результат разбраковки партии деталей	220
Глава XI. Понятия о размерных цепях	222
§ 1. Виды и назначение размерных цепей	222
§ 2. Расчет размерных цепей на максимум — минимум	226
§ 3. Понятие о расчете допусков на базе теории вероятностей	231
§ 4. Понятия о методах регулирования, группировки и пригонки звеньев размерной цепи	232
Приложения	235
Литература	252

Алексей Никитович Журавлев

ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Редактор А. М. Мокрецов. Научный редактор Р. В. Медведева,
Художественный редактор В. П. Спирова. Технический редактор
Л. А. Григорчук. Корректор Р. К. Қоснинова.

ИБ № 2802

Изд. № М — 148. Сдано в набор 05.08.80. Подп. в печать
06.02.81. Т — 00850. Формат 84×108/32. Бум. тип. № 3. Гарнитура
литературная. Печать высокая. Объем 13,44 усл. печ. л. 13,65 усл.
кр.-отт. 13,07 уч.-изд. л. Тираж 100 000 экз. Зак. № 414.
Цена 30 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул.,
д. 29/14.

Типография изд-ва «Уральский рабочий»,
Свердловск, просп. Ленина, 49.

