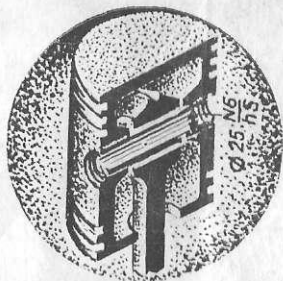


621.817(075) 34.414  
Г 19

Г. М. ГАНЕВСКИЙ  
И. И. ГОЛЬДИН

Допуски, посадки  
и технические  
измерения  
в машиностроении



ББК 34.41  
Г 19  
УДК 621.753.1

Рецензенты: А. М. Зимина (инж., з-д «Калибр»),  
А. Г. Елисаветский (преподаватель, СПТУ № 38 Москвы)

**Ганевский Г. М., Гольдин И. И.**  
Г19 Допуски, посадки и технические измерения в  
машиностроении: Учеб. для сред. ПТУ.—М.: Высш.  
шк., 1987.— 270 с.: ил.

Приведены сведения о взаимозаменяемости и технических измерениях в машиностроении, изложены системы допусков и посадок на различные виды соединений, описаны широко применяемые средства измерений линейных и угловых величин.

Учебник может быть использован при профессиональном обучении рабочих на производстве.

Г 2103000000(4307000000)—375 21—87  
052(01)—87

ББК 34.41

6П5.1

© Издательство «Высшая школа», 1987

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Центральной задачей современного этапа совершенствования социализма в нашей стране является наибольшая интенсификация производства. Машиностроение является главной отраслью народного хозяйства, которая обеспечивает решение этой задачи, но надо иметь в виду, что для этого необходимо коренное повышение качества продукции самого машиностроения.

Качество машин зависит от целесообразного назначения требований к деталям и к самим машинам в целом. Требования эти назначаются в конструкторской и технологической документации. Особо важно строгое соблюдение этих требований при изготовлении деталей и при сборке машины. Требования к качеству машин в большинстве своем состоят из допусков и посадок соединений деталей и правильного назначения и применения средств измерения, обладающих требуемой точностью и надежностью.

Осуществляемые в настоящее время модернизация и автоматизация измерительных средств, применяемых в машиностроении, направлены на повышение качества машин.

Изучаемый в училищах профтехобразования, готовящих рабочих для машиностроения, общетехнический предмет «Допуски и технические измерения» содержит сведения о допусках, посадках и средствах измерения линейных и угловых размеров деталей машин, как традиционно применяющихся, так и новых, перспективных, которые только начинает выпускать наша инструментальная промышленность. Учебник снабжен значительным количеством рисунков, в которых даны изображения, взятые из применяемых в настоящее время учебных плакатов «Основы взаимозаменяемости» и «Средства из-

мерения и контроля в машиностроении» последних изданий. Это сделано для повышения результативности закрепления знаний учебного материала как на уроках, так и при выполнении домашних заданий. При изложении в учебнике научно-технических сведений из области взаимозаменяемости и метрологии, указанных в ГОСТах и других основополагающих документах по машиностроению, авторы помимо текста, взятого из указанных документов, привели формулировки, облегчающие учащимся понимание излагаемых сведений.

Реформа общеобразовательной и профессиональной школы определяет необходимость глубокого изучения теоретических основ современного машиностроения, а потому в учебнике изложен чаще всего максимальный объем сведений по темам учебной программы. Преподаватель в зависимости от конкретной профессии может различно использовать объем, данный в учебнике (кроме глав 1 и 2, которые должны всегда изучаться полностью).

Введение, главы 1 и 2 учебника написаны канд. пед. наук И. И. Гольдиным, а все остальные главы — инж. Г. М. Ганевским.

Настоящий учебник предназначен для подготовки рабочих современного машиностроения в училищах профтехобразования и в заводской системе подготовки кадров.

Авторы выражают благодарность рецензентам А. М. Зиминой и А. Г. Елисаветскому за ценные замечания и советы по улучшению учебника.

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, принятых на XXVII съезде КПСС, указывается на необходимость коренного повышения качества продукции.

Изготовление рабочим высококачественной продукции невозможно без умения грамотно пользоваться конструкторской и технологической документацией, владеть техникой измерений.

Конструкторская и технологическая документация обычно представляют собой чертежи и технологические карты, на которых дается изображение деталей и сборочных единиц с целым рядом указаний к процессу обработки или сборки. Большинство этих указаний связано с тем, что требуется в той или иной степени в зависимости от назначения изделия ограничить неизбежные погрешности (погрешность — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины), которые будут возникать при обработке или сборке. Практика показывает, что при обработке деталей невозможно получить абсолютно точно заданный размер не только у ряда обрабатываемых деталей, но даже и у одной детали в разных сечениях.

С чем связаны и что представляют собой эти погрешности, почему они неизбежны? Причины возникновения погрешностей много: неточность оборудования (станков, прессов и т. д.), приспособлений и режущих инструментов, степень изношенности их; неоднородность заготовок для деталей по размерам, форме, твердости, механическим свойствам; неточности установки и закрепления заготовок в приспособлениях; влияние температуры, приводящее к изменению размеров обрабатываемых деталей, а также отдельных частей оборудования, приспособлений или режущих инструментов; упругие деформации деталей оборудования, приспособлений, режущих инструментов и обрабатываемых изде-

лий; несоблюдение установленных режимов обработки (скоростей, подач, глубин резания и др.); вибрации фундамента, на котором установлено оборудование, и т. д. Наконец, возможны ошибки рабочего, часто связанные с недостаточным уровнем его квалификации.

Все возникающие погрешности в дальнейшем будем делить на четыре вида: погрешности размеров, формы поверхности, расположения поверхностей и погрешности качества поверхности.

Как же в этих условиях, когда, с одной стороны, погрешности неизбежны, а с другой — их наличие никак, очевидно, не способствует повышению качества, обеспечить выпуск высококачественной продукции? Ответы на эти вопросы, крайне необходимые квалифицированному рабочему, дает знание предмета «Допуски и технические измерения».

Особенностью этого предмета является очень большое число совершенно новых представлений, определений, терминов, которые надо не только понять и запомнить, но и которыми надо научиться свободно оперировать. Поэтому с особым вниманием следует отнестись к приведенным в учебнике числовым примерам и упражнениям, обязательно после изучения материала каждой главы отвечать на контрольные вопросы.

Изучив предмет, каждый учащийся должен научиться свободно читать в конструкторской и технологической документации указания о точности изготовления и характере сопряжения деталей, а также указания о допустимых отклонениях формы и расположения поверхностей и их шероховатости, чтобы в процессе обработки деталей и сборки учитывать указанные на чертежах требования, обоснованно выбирать средства измерения и умело пользоваться ими.

## ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗМЕРАХ И СОПРЯЖЕНИЯХ

### § 1.1. Линейные размеры, отклонения и допуски линейных размеров

При изготовлении любого изделия всегда пользуются чертежом, на котором обозначаются все его размеры. Что такое *линейный размер*? Это — числовое значение линейной величины (диаметра, длины) в выбранных единицах измерения. По принятой в СССР метрической системе линейные размеры на чертежах проставляются в миллиметрах (мм).

Размер, полученный конструктором в результате расчетов (на прочность, жесткость) или с учетом различных конструкторских или технологических соображений при проектировании, называется *номинальным*.

Номинальные размеры могут быть как целыми, так и дробными числами. Однако конструктор не должен любой размер, полученный им при расчете, принимать за номинальный и проставлять на чертеже. В противном случае для получения, например, отверстий требуется изготовлять сверла и развертки для каждого проставленного размера, что экономически нецелесообразно. Поэтому, чтобы уменьшить разнообразие назначаемых конструктором номинальных линейных размеров, а следовательно, уменьшить номенклатуру режущего и измерительного инструмента, типоразмеров изделий и запасных частей к ним и т. п., установлено обязательное применение так называемых нормальных линейных размеров. На чертеже в качестве номинального линейного размера указывается только такой размер, который после расчета округлен до ближайшего большего значения из установленного ряда нормальных линейных размеров.

Можно ли изготовить деталь с абсолютно точным размером, указанным на чертеже, т. е. абсолютно точно

выполнить номинальный размер? Конечно, нет, погрешности неизбежны — они связаны со многими причинами, о которых упоминалось выше. В настоящей главе мы будем рассматривать только вопросы, связанные с погрешностями размеров.

Итак, размер, полученный в результате изготовления детали, будет отличаться от номинального. Но в этом случае возникают следующие вопросы: следует ли стремиться к наивысшей точности, что безусловно удорожает изделие, и какова возможная величина погрешности, при которой изделие будет полностью соответствовать своему назначению. На первый вопрос ответ однозначен: чем точнее должен быть выполнен при обработке размер, тем дороже становится производство. Поэтому надо определить возможные отклонения от номинального размера и решить, как установить и записать их на чертеже.

Размер, полученный в результате обработки детали, отличается от номинального, но ведь значение этого размера становится известно лишь в результате измерения, а оно, в свою очередь, также может осуществляться с различной погрешностью. Поэтому в дальнейшем будем говорить о *действительном размере* — размере, установленном измерением с допустимой погрешностью. Допустимые погрешности измерения, а следовательно, и выбор измерительных средств необходимо согласовывать с точностью, которая требуется для данного размера, о чем будет сказано ниже (см. гл. IV).

Итак, чтобы действительный размер обеспечивал функциональную годность детали, конструктор, исходя из целого ряда факторов, должен установить после расчета номинального размера *два предельных размера — наибольший и наименьший*. Это предельно допустимые размеры, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали.

Однако задавать на чертеже два размера неудобно, поэтому поступают по-иному: в дополнение к номинальному размеру на чертеже проставляют его *предельные отклонения — верхнее и нижнее*. Верхнее отклонение — это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами. Нижнее отклонение — это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами. Определение отклонений как алгебраической разности числовых ве-



личин означает, что они всегда имеют знак: плюс (+) или минус (—).

Теперь номинальный размер можно определить как размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит началом отсчета всех отклонений, как предельных (верхнего и нижнего), так и действительных. *Действительное отклонение* — это алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

Зона значений размеров, между которыми должен находиться действительный размер годной детали, характеризует точность размера и называется допуском, он обозначается буквой *T*. Иначе говоря, допуск — это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами, или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск, в отличие от отклонений, знака не имеет.

Пример. Конструктор рассчитал на прочность ось, имеющую форму гладкого цилиндра, и получил размер 37,8 мм. Полученный расчетом размер округляют до ближайшего нормального размера — 38 мм и получают номинальный размер. Далее, исходя из технических и эксплуатационных соображений, конструктор по специальным таблицам (о них будет рассказано ниже) устанавливает для данной детали с номинальным размером 38 мм следующие предельные отклонения: верхнее — 50 мкм, нижнее — 89 мкм. Так как на чертеже все размеры проставляются в мм, то соответственно и предельные отклонения, которые в таблицах указаны в мкм (тысячных долях миллиметра), при переносе на чертеж конструктор переводит в мм, т. е. 50 мкм = 0,050 мм и 89 мкм = 0,089 мм. Окончательно на чертеже конструктор наносит номинальный размер с предельными отклонениями в следующем виде:  $38 \begin{smallmatrix} -0,050 \\ -0,089 \end{smallmatrix}$ .

Теперь можно подсчитать предельные размеры. Наибольший предельный размер получится, если из номинального размера вычесть верхнее отклонение:  $38 - 0,050 = 37,950$  мм. Наименьший предельный размер получится, если из номинального размера вычесть нижнее отклонение:  $38 - 0,089 = 37,911$  мм. Значит, если при изготовлении указанной детали действительный размер окажется между 37,950 мм и 37,911 мм или равен им, то деталь будет годной.

Допуск можно подсчитать так:  $37,95 - 37,911 = 0,039$  мм или  $-0,050 - (-0,089) = 0,039$  мм. Таким образом, допуск 0,039 мм (или соответственно 39 мкм) означает, что в партии годных деталей могут быть детали, размеры которых отличаются друг от друга не более чем на 39 мкм.

Ясно, что чем допуск больше, тем ниже требования к точности обработки детали, тем проще ее изготовление. И наоборот, уменьшение допуска означает большую точность, требуемую при изготовлении детали, и соответственно ее удорожание. Поэтому назначение конструктором допуска (или предельных отклонений) дол-

жно быть тщательно обосновано. Во всех случаях, когда есть такая возможность, назначают большие допуски, так как это экономически выгодно для производства, но при непереносимом условии, чтобы полностью сохранялась функциональная годность выпускаемых изделий и их качество не ухудшалось.

Все рассмотренные понятия: номинальный размер, действительный размер, предельные размеры (наибольший и наименьший), предельные отклонения (верхнее и нижнее), допуск — можно представить графически. Однако изобразить отклонения и допуск в одном масштабе с размерами детали практически невозможно

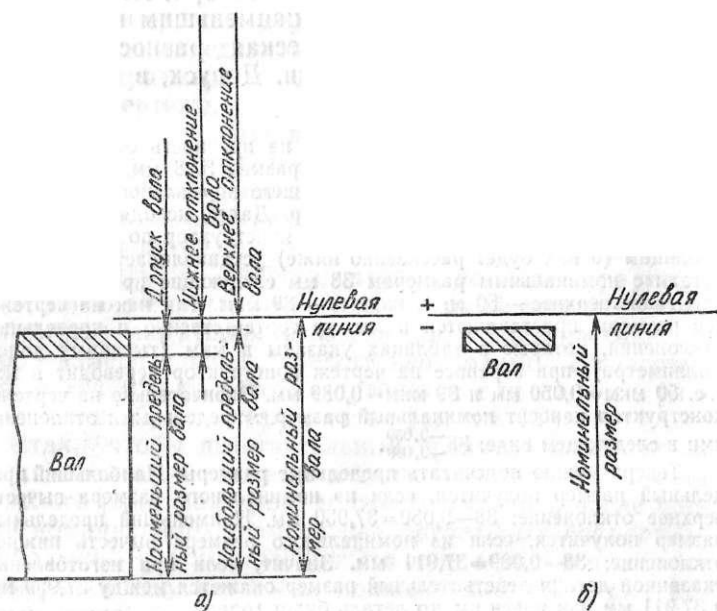


Рис. 1.1. Графическое изображение размеров, отклонений и поля допуска вала:

а — с указанием предельных размеров, б — с указанием поля допуска

(в приведенном выше примере номинальный размер равен 38 мм, а отклонения равны 0,050 мм и 0,089 мм, допуск равен 0,039 мм). Поэтому вместо полного изображения отверстий и валов с предельными размерами (рис. 1.1, а и 1.2, а) применяют схематичные — только с указанием отклонений, такие схемы можно вычерчивать

в масштабе, они получаются более наглядными, простыми и компактными (рис. 1.1, б и 1.2, б).

Построение схемы начинается с проведения нулевой линии — горизонтальной линии, соответствующей номинальному размеру, от которой откладываются отклоне-

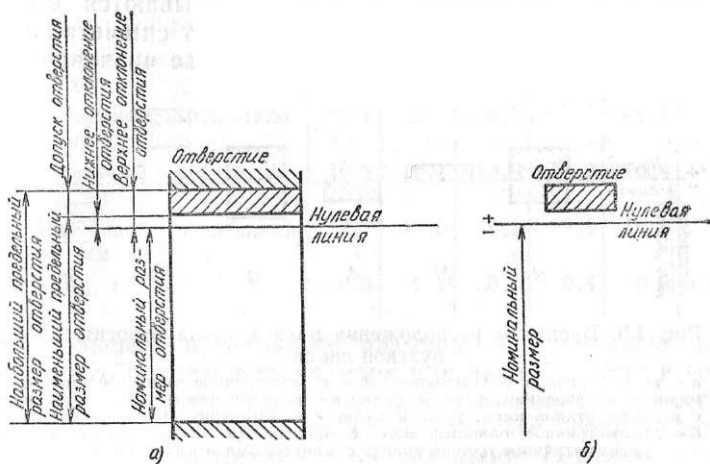


Рис. 1.2. Графическое изображение размеров, отклонений и поля допуска отверстия:

а — с указанием предельных размеров, б — с указанием поля допуска

ния размеров (вверх — со знаком плюс и вниз — со знаком минус).

Зона, заключенная между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям, называется *полем допуска*. При этом поле допуска вала или отверстия (на схемах — заштрихованные прямоугольники с расположенными рядом словами «вал» или «отверстие») условно показывается по одну сторону размера. Поле допуска отличается от допуска тем, что оно определяет не только величину, но и его положение относительно номинального размера.

Поле допуска по отношению к нулевой линии может располагаться по-разному: асимметричное двустороннее расположение (рис. 1.3, а); асимметричное одностороннее с нижним отклонением, равным нулю (рис. 1.3, б); асимметричное одностороннее с верхним отклонением, равным нулю (рис. 1.3, в); симметричное двустороннее (рис. 1.3, г); асимметричное одностороннее с плюсовыми

отклонениями (рис. 1.3, *д*); асимметричное с минусовыми отклонениями (рис. 1.3, *е*). Во всех случаях на чертеже предельные отклонения указываются справа непосредственно после номинального размера: верхнее отклонение над линией, нижнее — под линией. Числовые величины отклонений записываются мелким шрифтом (исключение составляет поле допуска, в этом случае

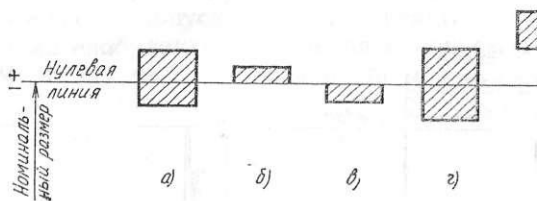


Рис. 1.3. Варианты расположения поля допуска относительно нулевой линии:

*а* — асимметричное двустороннее, *б* — асимметричное с нижним отклонением, равным нулю, *в* — асимметричное с верхним отклонением, равным нулю, *г* — симметричное, *д* — асимметричное одностороннее с плюсовыми отклонениями, *е* — асимметричное одностороннее с минусовыми отклонениями.

величина отклонения записывается тем же шрифтом, что и номинальный размер). Номинальный размер проставляется на чертеже в мм (в целых или дробных величинах, обозначаемых чертой над дробью). Перед величиной предельного отклонения ставится знак плюс или минус, если же отклонений не проставлено, то это означает, что отклонения равны нулю.

Пример. Номинальный размер 10 мм с различными отклонениями в порядке вариантов расположения поля допуска по рис. 1.3, на чертеже будет обозначаться так:

*а*)  $10^{+0,2}_{-0,1}$ ; *б*)  $10^{+0,1}$ ; *в*)  $10_{-0,1}$ ; *г*)  $10 \pm 0,2$ ; *д*)  $10^{+0,1}_{-0,3}$

Проанализируем чтение размеров на примере рис.

### Упражнение 1. Чтение размеров

Основные понятия, выявляемые при чтении размера	Обозначение размера на чертеже			
	$10^{+0,2}_{-0,1}$	$10^{+0,1}$	$10_{-0,1}$	$10 \pm 0,2$
Номинальный размер, мм	10,0	10,0	10,0	10,0
Верхнее предельное отклонение, мм	+0,2	+0,1	0	+0,2
Нижнее предельное отклонение, мм	-0,1	0	-0,1	-0,2
Наибольший предельный размер, мм	10,2	10,1	10,0	10,2
Наименьший предельный размер, мм	9,9	10,0	9,9	9,8
Допуск, мм	0,3	0,1	0,1	0,4

наибольшего предельного размера и не меньше предельного размера или равен им. *Условие годности действительного размера.* Не забыть, что для установления годности действительный размер с предельными (которые требуют точности изготовления), а не с номинальным (который является лишь исходным для предельных размеров), проиллюстрируем это на решении упражнения 2, являющегося продолжением упражнения 1.

### Упражнение 2. Определение годности действительных

Действительные размеры, мм	Обозначение размера на чертеже, мм				
	$10^{+0,2}_{-0,1}$	$10^{+0,1}$	$10_{-0,1}$	$10 \pm 0,2$	$10^{+0,1}_{-0,1}$
	Заключение о годности				
9,7	Брак	Брак	Брак	Брак	Брак

между предельными размерами 9,9 мм и 9,7 мм и невенство в этом случае действительного размера не как не влияет на наш вывод.

До сих пор мы вводили понятия, характеризующие исполнение размера, и оперировали относительными размерами на чертеже с пометкой. В действительности же размер без пометки существует, его надо обязательно соотносить с действительностью, обработка которой им определяется.

Для удобства и упрощения рассуждений в дальнейшем данными чертежа все многообразия элементов деталей принято сводить к двум типам. Наружные (охватываемые) элементы мы будем называть валом, а внутренние (покрывающие) — отверстием.

Номинальный, наибольший предельный, наименьший предельный и действительный размеры вала обозначаются соответственно  $d$ ,  $d_{\max}$ ,  $d_{\min}$  и  $d_{\text{д}}$ ; аналогичные размеры отверстия —  $D$ ,  $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$  и  $D_{\text{д}}$ ; радиус закругления при входе в отверстие —  $T_D$ .

При этом не следует термин «вал» отождествлять с названием типовой детали. Также следует помнить, что сведение многообразия элементов к «валу» и «отверстию» никак не связывается с определением метрической формы, когда слова «вал» и «отверстие» привычно ассоциируются со словом «цилиндр». Однако цилиндрические конструктивные элементы детали могут иметь форму гладких цилиндров, так и ограниченные параллельными плоскостями. Для нас важен не конкретный тип элемента детали: если элемент охватывается — это вал, если покрывается — это отверстие.

Так, размер, указывающий на расстояние между параллельными плоскостями какого-либо элемента, например, призматического бруска (например, ширина), должен соотноситься с термином «вал», так как является наружным (охватываемым).

ного размера. Теперь заключение о том, что брак, мы можем и должны дополнить характер брака: брак исправимый, брак неисправимый (тотальный). Если элемент детали является наружным (валом, то завышенный действительный размер (больше наибольшего предельного) можно исправить дополнительной обработкой — брак исправим. А если элемент является внутренним, т. е. отверстием, заниженный действительный размер (меньше наименьшего предельного) исправить обработкой — сделать уже нельзя, следовательно, в этом случае брак неисправим.

Таким образом, окончательно *условие годности* формулируется так: если действительный размер окажется между наибольшим и наименьшим предельными размерами или равен любому из них — размер годен. Т. е.  $D_{\min} \leq D_d \leq D_{\max}$ ,  $d_{\min} \leq d_d \leq d_{\max}$ .

Для случая, когда элемент является внутренним (отверстие):

если действительный размер окажется между наименьшим и наибольшим предельными размерами или равен любому из них — брак исправим.

### Упражнение 3. Чтение размеров

Основные понятия, выявляемые при чтении размера	Обозначение размеров, мм				
	$15^{+0,3}_{-0,2}$	$15^{+0,2}$	$15^{-0,1}$	$15 \pm 0,4$	$15_{-0,2}$
Номинальный размер, мм	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Верхнее предельное отклонение, мм	+0,3	+0,2	0	+0,4	+0,2

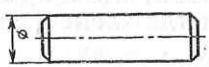
если действительный размер окажется больше наибольшего предельного размера — брак неисправимый (окончательный).

Для случая, когда элемент является наружным (вал):  
если действительный размер окажется больше наибольшего предельного размера — брак исправимый;

если действительный размер окажется меньше наименьшего предельного размера — брак неисправимый (окончательный).

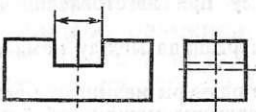
Проиллюстрируем применение сформулированных условий годности размера, проанализировав решение упражнений 3, 4, 5, 6 (при этом обращаем внимание на то, что упражнения 4 и 6 являются соответственно продолжением упражнений 3 и 5 — с теми же исходными данными).

#### Упражнение 4. Определение годности действительных размеров

Действительные размеры, мм						
	Обозначение размеров, мм					
	$15^{+0,3}_{-0,2}$	$15^{+0,2}$	$15_{-0,1}$	$15 \pm 0,4$	$15^{+0,5}_{-0,3}$	$15^{+0,1}_{-0,3}$
Заключение о годности						
15,6	Брак исправ.	Брак исправ.	Брак исправ.	Брак исправ.	Брак исправ.	Брак исправ.
15,5	То же	То же	То же	То же	Годен	То же
15,3	Годен	»	»	Годен	»	»
15,0	»	Годен	Годен	»	Брак неисправ.	»
14,7	Брак неисправ.	Брак неисправ.	Брак неисправ.	»	То же	Годен
14,5	То же	То же	То же	Брак неисправ.	»	Брак неисправ.

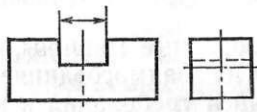


### У п р а ж н е н и е 5. Чтение размеров

Основные понятия, выявляемые при чтении размера						
	Обозначение размеров, мм					
	$30^{+0,5}_{-0,1}$	$30^{+0,4}$	$30_{-0,3}$	$30 \pm 0,1$	$30^{+0,3}_{-0,2}$	$30^{-0,3}_{-0,5}$
Номинальный размер, мм	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Верхнее предельное отклонение, мм	+0,5	+0,4	0	+0,1	+0,3	-0,3
Нижнее предельное отклонение, мм	-0,1	0	-0,3	-0,1	+0,2	-0,5
Наибольший предельный размер, мм	30,5	30,4	30	30,1	30,3	29,7
Наименьший предельный размер, мм	29,9	30,0	29,7	29,9	30,2	29,5
Допуск, мм	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2

П р и м е ч а н и е. Элемент детали — отверстие.

### У п р а ж н е н и е 6. Определение годности действительных размеров

Действительные размеры, мм						
	Обозначение размеров, мм					
	$30^{+0,5}_{-0,1}$	$30^{+0,4}$	$30_{-0,3}$	$30 \pm 0,1$	$30^{+0,3}_{-0,2}$	$30^{-0,3}_{-0,5}$
Заключение о годности						
30,6	Брак неисправ.	Брак неисправ.	Брак неисправ.	Брак неисправ.	Брак неисправ.	Брак неисправ.
30,5	Годен	То же	То же	То же	То же	То же
30,0	»	Годен	Годен	Годен	Брак исправ.	»
29,9	Брак исправ.	Брак исправ.	»	Брак исправ.	Годен	»
29,5	То же	То же	Брак исправ.	То же	Брак исправ.	Годен
29,4	»	»	То же	»	То же	Брак исправ.

## Контрольные вопросы

1. Почему при изготовлении изделий неизбежны погрешности размеров?
2. В чем разница между номинальным и действительным размерами?
3. Какие размеры называют предельными?
4. Как связаны между собой предельный размер, номинальный размер и предельное отклонение?
5. Что определяет допуск?
6. Как связаны между собой предельные размеры и допуск?
7. Как связаны между собой предельные отклонения и допуск?
8. Как понимать размер на чертеже  $50_{-0,39}$ ? Чему в этом случае равно верхнее отклонение?
9. Как понимать размер на чертеже  $75^{+0,030}$ ? Чему в этом случае равно нижнее отклонение?
10. Какие элементы деталей имеют обобщенное название «отверстие»? Приведите конкретные примеры.
11. Какие элементы деталей имеют обобщенное название «вал»? Приведите конкретные примеры.
12. Как графически изображаются размеры, отклонения и поле допуска? Что на схеме обозначает нулевая линия?
13. В чем различие между понятиями «допуск» и «поле допуска»?
14. Сформулируйте условия годности действительного размера вала.
15. Сформулируйте условия годности действительного размера отверстия.
16. В каком случае действительный размер, равный номинальному, окажется бракованным?

## § 1.2. Посадки

Все разнообразие машины, станки, приборы, механизмы состоят из взаимосоединяемых деталей. Конструкции соединений и требования к ним могут быть различными. В зависимости от назначения соединения сопрягаемые детали машин и механизмов во время работы либо должны совершать относительно друг друга то или иное движение, либо, наоборот, сохранять относительно друг друга полную неподвижность.

Для обеспечения подвижности соединения нужно, чтобы действительный размер охватывающего элемента одной детали (отверстия) был больше действительного размера охватываемого элемента другой детали (вала). Разность действительных размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала, называется *зазором*.

Для получения неподвижного соединения нужно, чтобы действительный размер охватываемого элемента одной детали (вала) был больше действительного размера

охватывающего элемента другой детали (отверстия). Разность действительных размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размеров отверстия, называется *натягом*. Следует иметь в виду, что после сборки размеры вала и отверстия при образовании натяга будут одинаковы, так как при сборке детали деформируются, чем и обеспечивается неподвижность соединения.

Технологический процесс сборки соединения с натягом осуществляется либо запрессовкой с усилием вала в отверстие (при малых натягах), либо за счет увеличения непосредственно перед сборкой размера отверстия путем нагрева (при больших натягах).

Сопряжение, образуемое в результате соединения отверстий и валов (охватывающих и охватываемых элементов деталей) с одинаковыми номинальными размерами, обычно называют *посадкой*. Более точно такое определение: посадка — это характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов. Обращаем еще раз особое внимание на следующее: характер соединения зависит от действительных размеров сопрягаемых деталей перед сборкой, а номинальные размеры отверстия и вала, составляющих соединение, одинаковы.

Поскольку действительные размеры годных отверстий и валов в партии деталей, изготовленных по одним и тем же чертежам, могут колебаться между заданными предельными размерами, то, следовательно, и величина зазоров и натягов может колебаться в зависимости от действительных размеров сопрягаемых деталей. Поэтому различают *наибольший и наименьший зазоры* и соответственно *наибольший и наименьший натяги*.

Наибольший зазор  $S_{\max}$  равен разности между наибольшим предельным размером отверстия  $D_{\max}$  и наименьшим предельным размером вала  $d_{\min}$ :  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ . Наименьший зазор  $S_{\min}$  равен разности между наименьшим предельным размером отверстия  $D_{\min}$  и наибольшим предельным размером вала  $d_{\max}$ :  $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$ .

Наибольший натяг  $N_{\max}$  равен разности между наибольшим предельным размером вала  $d_{\max}$  и наименьшим предельным размером отверстия  $D_{\min}$ :  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$ . Наименьший натяг  $N_{\min}$  равен разности между наименьшим предельным размером вала  $d_{\min}$  и наибольшим предельным размером отверстия  $D_{\max}$ :  $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$ .

Покажем на примерах, как подсчитываются в соответствии с приведенными определениями наибольшие и наименьшие зазоры и натяги.

Пример 1. На чертеже отверстия указан размер  $50^{+0,02}$ , а на чертеже вала — размер  $50_{-0,06}^{-0,03}$ . Проведем необходимые расчеты.

Предельные размеры отверстия, мм: наибольший —  $50,0+0,02=50,02$ ; наименьший —  $50,00$ .

Предельные размеры вала, мм: наибольший —  $50,00-0,03=49,97$ ; наименьший —  $50,00-0,06=49,94$ .

Зазор, мм: наибольший —  $50,02-49,94=0,08$ ; наименьший —  $50,0-49,97=0,03$ .

Пример 2. На чертеже отверстия указан размер  $50^{+0,02}$ , а на чертеже вала — размер  $50_{+0,03}^{+0,05}$ . Проведем необходимые расчеты.

Предельные размеры отверстия, мм: наибольший —  $50,00+0,02=50,02$ ; наименьший —  $50,00$ .

Предельные размеры вала, мм: наибольший —  $50,00+0,05=50,05$ ; наименьший —  $50,00+0,03=50,03$ .

Натяг, мм: наибольший —  $50,05-50,00=0,05$ ; наименьший —  $50,03-50,02=0,01$ .

В предыдущем параграфе мы на схеме представили графически все основные понятия, связанные с точностью исполнения размеров. Точно так же можно графически представить наибольшие и наименьшие зазоры и натяги. Построение схемы для графического представления посадки начинается с проведения нулевой линии, соответствующей номинальному размеру соединения (номинальные размеры отверстия и вала, составляющих соединение, или, что то же самое, — образующих посадку, одинаковы). От нулевой линии, единой для отверстия и вала, откладываются в выбранном масштабе и с учетом знаков величины предельных отклонений отверстия и вала, при этом в каждом случае — для отверстия и вала — между линиями, соответствующими верхним и нижним отклонениям, получаем поля допусков сопрягаемых отверстия и вала. И наконец, в соответствии с приведенными выше определениями выявляются на схемах наибольшие и наименьшие зазоры (рис. 1.4) и натяги (рис. 1.5).

На рис. 1.4 видно, что при графическом изображении посадки с зазором поле допуска отверстия располагается над полем допуска вала, т. е. размеры годного отверстия всегда больше размеров годного вала, как и было отмечено ранее при введении понятия «зазор».

Точно так же на рис. 1.5 видно, что при графическом изображении посадки с натягом поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала, т. е. размеры год-

ного отверстия всегда меньше размеров годного вала, как и было отмечено ранее при введении понятия «натяг».

Приведенные выше числовые примеры и соответствующие им графические построения не исчерпывают всех возможных групп посадок. Наряду с посадками с зазо-

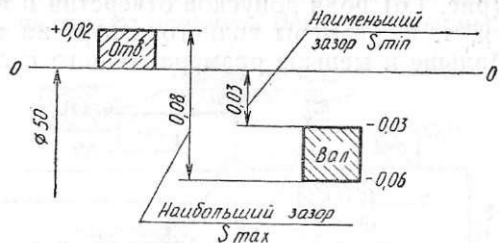


Рис. 1.4. Графическое изображение посадки с зазором

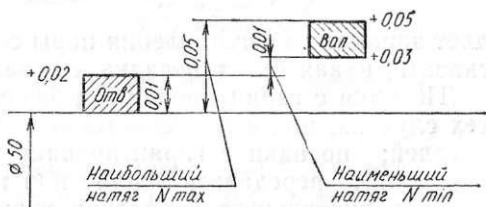


Рис. 1.5. Графическое изображение посадки с натягом

ром и посадками с натягом, когда зазор или соответственно натяг в соединении гарантируются сопряжением любых годных отверстий и валов, возможен и такой вариант, когда предельные размеры сопрягаемых деталей не гарантируют получение в сопряжении только зазора или только натяга. Такие посадки называются *переходными*, в этом случае возможно получение как зазора так и натяга, конкретный характер соединения будет зависеть от действительных размеров сопрягаемых годных отверстий и валов. Покажем это на примере.

Пример 3.

На чертеже отверстия указан размер  $50^{+0,02}$ , а на чертеже вала —  $50^{+0,03}_{+0,01}$ . Проведем необходимые расчеты.

Предельные размеры отверстия, мм: наибольший —  $50,00 + 0,02 = 50,02$ ; наименьший —  $50,00$ .

Предельные размеры вала, мм: наибольший —  $50,00 + 0,03 = 50,03$ ; наименьший —  $50,00 + 0,01 = 50,01$ .

Если представить соединение отверстия, имеющего наибольший предельный размер, с валом, имеющим наименьший предельный размер, то образуется посадка с зазором, так как отверстие больше вала, при этом зазор будет наибольшим и равным  $50,02 - 50,01 = 0,01$  мм.

Если же представить соединение отверстия, имеющего наименьший предельный размер, с валом, имеющим наибольший предельный размер, то образуется посадка с натягом, так как вал больше отверстия, при этом натяг будет наибольшим и равным  $50,03 - 50,00 = 0,03$  мм.

При графическом изображении переходной посадки (рис. 1.6) поля допусков отверстия и вала перекрываются, т. е. размеры годного отверстия могут оказаться и больше и меньше размера годного вала, что и не позво-

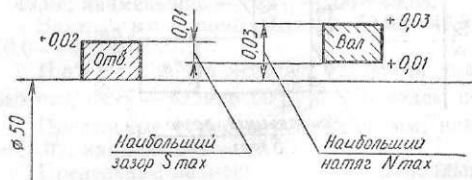


Рис. 1.6. Графическое изображение переходной посадки

ляет заранее до изготовления пары сопрягаемых деталей сказать, какая будет посадка — с зазором или натягом.

Посадки с гарантированным зазором используются в тех случаях, когда допускается относительное смещение деталей; посадки с гарантированным натягом — когда необходимо передавать усилие или вращающий момент без дополнительного крепления только за счет упругих деформаций, возникающих при сборке сопрягаемых деталей.

Переходные посадки имеют небольшие предельные зазоры и натяги и поэтому их применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить центрирование деталей, т. е. совпадение осей отверстия и вала; при этом в соединении требуется дополнительное закрепление соединяемых деталей.

Посадки всех трех групп с зазорами, с натягами, переходные с различными величинами наибольших и наименьших зазоров и натягов можно получать, изменяя положение полей допусков обеих сопрягаемых деталей — отверстия и вала. Но, очевидно, таких сочетаний может оказаться бесчисленное множество, что привело бы к невозможности централизованного изготовления мерного режущего инструмента (сверл, зенкеров, разверток), формирующего размер отверстия.

Гораздо удобнее в технологическом (при изготовлении) и эксплуатационном (при ремонте) отношениях получать разнообразные посадки, изменяя положение поля допуска только одной детали при неизменном положении поля допуска другой.

Например, разные посадки, рассмотренные в примерах 1, 2, 3, образованы изменением только полей допуска валов при постоянных полях допуска отверстий. Такой способ образования различных посадок называется *системой отверстия*. Деталь, у которой положение поля допуска является базовым и не зависит от требуемого характера соединения, называют *основной деталью системы*

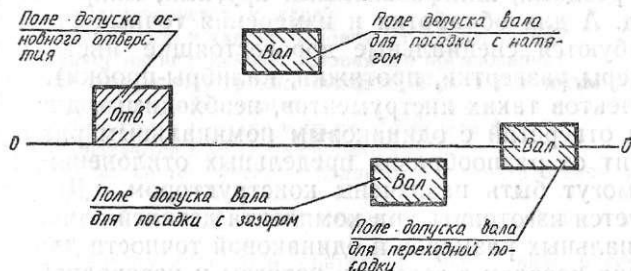


Рис. 1.7. Графическое изображение посадок в системе отверстия

(в рассмотренном случае — отверстие). Аналогичные посадки могут быть получены по-иному, если за основную деталь принять вал, а для образования различных посадок изменять поля допусков отверстий. Такой способ образования называется *системой вала*.

Таким образом, посадки в системе отверстия — это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием (рис. 1.7); посадки в системе вала — это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом (рис. 1.8).

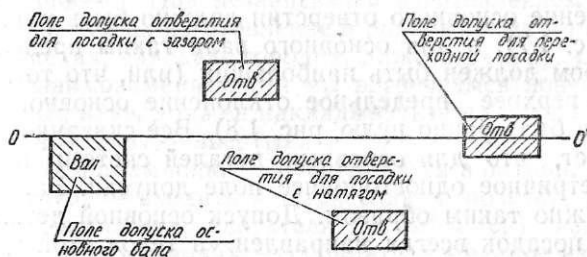


Рис. 1.8. Графическое изображение посадок в системе вала

В практике машиностроения предпочтение отдается системе отверстия, поскольку изготовить отверстие и измерить его значительно труднее и дороже, чем изготовить и измерить вал такого же размера с одинаковой точностью.

Так, валы различной точности (и высокой) можно обрабатывать и измерять универсальными инструментами — резцами, шлифовальными кругами, микрометрами и т. д. А для обработки и измерения точных отверстий потребуются специальные дорогостоящие инструменты (зенкеры, развертки, протяжки, калибры-пробки). Число комплектов таких инструментов, необходимых для обработки отверстий с одинаковым номинальным размером, зависит от разнообразия предельных отклонений, которые могут быть назначены конструктором. Допустим, требуется изготовить три комплекта деталей одинаковых номинальных размеров и одинаковой точности для образования посадок с зазором, натягом и переходной. Если принять систему отверстия, то предельные размеры отверстий для всех посадок будут одинаковы и для обработки и измерения отверстий потребуется только один комплект специальных инструментов. Для этого же случая в системе вала предельные размеры отверстий для каждой посадки будут различны и, следовательно, для обработки потребуется три комплекта специальных инструментов.

Чтобы сделать назначение посадок конструктором и обработку деталей рабочим еще более удобными, условились, что поля допусков основных деталей систем посадок должны удовлетворять одному обязательному условию: один из предельных размеров основной детали должен совпадать с номинальным размером. Причем для основного отверстия таким предельным размером должен быть наименьший (или, что то же самое, — нижнее отклонение основного отверстия должно быть равно нулю, рис. 1.7), а для основного вала таким предельным размером должен быть наибольший (или, что то же самое, — верхнее предельное отклонение основного вала должно быть равно нулю, рис. 1.8). Все сказанное выше означает, что для основных деталей системы принято асимметричное одностороннее поле допуска. Запомнить это можно таким образом. Допуск основной детали системы посадок всегда направлен «в тело» этой детали: в случае основного отверстия — на увеличение предельного размера по сравнению с номинальным; в случае ос-



нового вала — на уменьшение предельного размера по сравнению с номинальным.

Проиллюстрируем новые понятия — посадка, система и группа посадок путем анализа упражнений 7, 8.

#### Контрольные вопросы






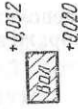
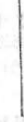

1. Что такое посадка?
2. Чем характеризуется посадка?
3. Что такое зазор и каковы условия его образования?
4. Что такое натяг и каковы условия его образования?
5. Какие существуют группы посадок? Для каких целей применяются посадки каждой группы?
6. Как образуются посадки в системе отверстия?
7. Как образуются посадки в системе вала?
8. Какая из систем посадок является предпочтительной и почему?
9. Как расположено поле допуска основного отверстия в системе отверстия?
10. Как расположено поле допуска основного вала в системе вала?
11. Как по взаимному расположению полей допусков отверстия и вала при графическом изображении посадки определить характер соединения?

### § 1.3. Основные понятия о взаимозаменяемости, стандартизации и качестве продукции

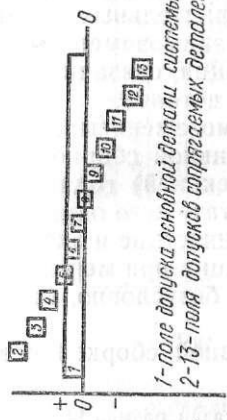
Один из главных принципов, используемых конструктором для разработки и изготовления всех машин и их деталей, — это принцип *взаимозаменяемости*. Взаимозаменяемостью называется свойство независимо изготовленных деталей, узлов или агрегатов машин, позволяющее устанавливать их при сборке или ремонте или заменять без всякой подгонки или дополнительной обработки и обеспечивать при этом их необходимую работоспособность в соответствии с заданными техническими условиями. Под независимым изготовлением деталей понимается их изготовление в разное время и разных местах (цехах, заводах, городах, даже странах). С примерами взаимозаменяемости мы встречаемся повседневно. Гаечный ключ должен накладываться на головку болта или гайку, винт — ввертываться в отверстие с резьбой, цоколь электролампочки — ввертываться в патрон, вилка электрошнура — входить в штепсельную розетку, целые агрегаты (например, двигатели автомобилей), изготовленные в разных городах, — собираться в единое изделие на конвейере главного завода.

Взаимозаменяемость, точнее, потребность в ней, воз-

У р а ж е н и е 7. Определение группы посадки по чертежам сопрягаемых деталей

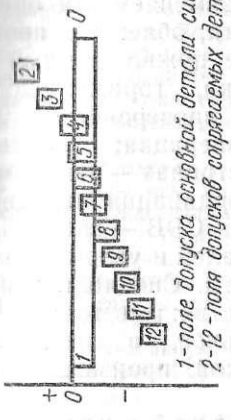
Основные понятия, выявляемые при чтении размеров		$15 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0,019$	$15 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0,032$ $15 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0,020$	$15 \pm 0,06$		$15 \begin{matrix} - \\ - \end{matrix} 0,006$ $15 \begin{matrix} - \\ - \end{matrix} 0,018$		
Номинальный размер, мм Верхнее предельное отклонение, мм Нижнее предельное отклонение, мм Наибольший предельный размер, мм Наименьший предельный размер, мм Допуск, мм	$15,0$ $+0,019$ $0$ $15,019$ $15,0$ $0,019$	$15,0$ $+0,032$ $+0,020$ $15,032$ $15,020$ $0,012$	$15,0$ $+0,006$ $-0,006$ $15,006$ $14,994$ $0,012$	$15,0$ $+0,006$ $-0,006$ $15,006$ $14,994$ $0,012$			С зазором	Наибольший зазор $0,037$ Наименьший зазор $0,006$
Графическое изображение поля допуска					Переходная	Наибольший зазор $0,025$ Наибольший натяг $0,006$		
Группа посадки, образующейся при сопряжении вала с основным отверстием	С натягом	Наибольший натяг $0,032$ Наибольший натяг $0,001$	Наибольший зазор $0,025$ Наибольший натяг $0,006$	Наибольший зазор $0,037$ Наименьший зазор $0,006$				
Величина зазоров и натягов, мм								

Взаимное расположение полей допусков сопрягаемых деталей



Основные понятия, выявляемые при анализе графического изображения посадок

1-поле допуска основной детали системы  
2-13-поля допусков сопрягаемых деталей



1-поле допуска основной детали системы  
2-12-поля допусков сопрягаемых деталей

**Система посадки**

Название основной детали системы и характеристика поля допуска этой детали

Название детали, сопрягаемой с основной

Характер соединения (группа посадок), образующего основной и сопрягаемыми деталями с полями допусков

**Система отверстия**

Основное отверстие; нижнее отклонение равно нулю

**Валы**

1-2; 1-3; 1-4—посадки с натягом;  
1-5; 1-6; 1-7; 1-8—переходные посадки;  
1-9; 1-10; 1-11; 1-12; 1-13 — посадки с зазором

**Система вала**

Основной вал; верхнее отклонение равно нулю

**Отверстия**

1-2; 1-3; — посадки с зазором;  
1-4; 1-5; 1-6; 1-7—переходные посадки;  
1-8; 1-9; 1-10; 1-11; 1-12—посадки с натягом

ника очень давно, но наибольшее развитие она получила с развитием металлообработки, особенно в условиях массового, а в последнее время — автоматизированного производства. Соблюдение взаимозаменяемости обеспечивает упрощение сборки и ремонта, облегчает процесс конструирования (конструктору не нужно каждый раз придумывать оригинальные решения, гораздо удобнее использовать уже опробованные и проверенные), дает возможность специализации и кооперации; отдельные цехи и заводы в разных городах и странах — эта возможность широко реализуется при координации народнохозяйственных планов стран — членов СЭВ — специализируются на выпуске конкретных деталей и узлов, которые затем поставляются другим заводам. Специализация, в свою очередь, удешевляет производство: имеется возможность использовать не универсальное, а специальное оборудование, обладающее высокой производительностью.

Взаимозаменяемость бывает полной и неполной. Полная взаимозаменяемость позволяет получать заданные показатели качества без дополнительных операций в процессе сборки. При неполной взаимозаменяемости в процессе сборки допускаются операции, связанные с подбором или регулировкой некоторых деталей.

Наиболее часто неполная взаимозаменяемость обеспечивается так называемой селективной сборкой, т. е. предварительной сортировкой (селекцией) годных деталей на размерные группы, в результате чего оказывается возможным получать заданные технические и эксплуатационные показатели готовой продукции при меньшей точности входящих в нее деталей (что, безусловно, экономически выгодно).

Покажем достигаемые селективной сборкой результаты на конкретном примере.

Пример 4. На чертеже отверстия указан размер  $90^{+0,054}$ , а на чертеже сопрягаемого с ним вала — размер  $90_{-0,090}^{-0,035}$ . Сопоставление этих размеров показывает, что так как любое годное отверстие (допуск «в плюс») оказывается больше любого годного вала (допуск «в минус»), то в сопряжении будет посадка с зазором. Подсчитаем величину наибольшего зазора как разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала:  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 90,054 - 89,910 = 0,144$  мм, т. е. 144 мкм.

Если ограниченные технологические возможности данного производства не позволяют обработать указанные детали (отверстия и валы) с меньшими допусками и в то же время оказывается, что подсчитанный выше наибольший зазор  $S_{\max} = 144$  мкм, получаемый в соединении, недопустимо велик для его нормальной работы, то

для повышения точности соединения применяется селективная сборка. С этой целью все годные отверстия и валы рассортировываются на три размерные группы, после чего детали одноименных групп собираются по принципу полной взаимозаменяемости.

Сортировка изготовленных годных отверстий осуществляется следующим образом. Допуск отверстия равен 54 мкм, в каждую размерную группу отбираются детали с допуском, в три раза меньшим заданного при обработке по чертежу: 1-я группа — отверстия с действительными отклонениями от 0 до +18 мкм, 2-я группа — отверстия с действительными отклонениями от +18 до +36 мкм, 3-я группа — отверстия с действительными отклонениями от +36 до +54 мкм. Изготовленные валы сортируют аналогично. Допуск вала также равен +54 мкм, поэтому в 1-ю группу отбирают валы с действительными отклонениями от -90 до -72 мкм, во 2-ю группу — с отклонениями от -72 до -54 мкм, в 3-ю группу — с отклонениями от -54 до -36 мкм.

Для образования сопряжения отверстия 1-й группы собираются с валами 1-й группы, отверстия 2-й группы — с валами 2-й группы, отверстия 3-й группы — с валами 3-й группы.

Покажем указанную разбивку допусков отверстий и валов на схеме посадки (рис. 1.9) и определим величины наибольших зазоров

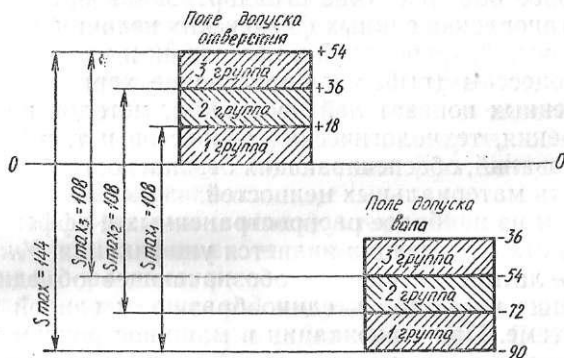


Рис. 1.9. К примеру 4

в образующихся сопряжениях. Оказывается, что наибольший зазор при сопряжении деталей, предварительно рассортированных на группы ( $S_{\max 1}$ ,  $S_{\max 2}$ ,  $S_{\max 3}$ ), становится равным 108 мкм, т. е. без уменьшения допусков на обработку соединяемых деталей точность посадки повышается.

Для обеспечения взаимозаменяемости необходимо, чтобы процессы конструирования машин, обработки деталей и сборки их в узлы осуществлялись в соответствии с определенными правилами и нормами. Так, мы уже упоминали о том, что полученный конструктором номинальный размер должен округляться до ближайшего значения из специально для этой цели установленного ряда

чисел, а поля допусков основных деталей систем посадок должны располагаться асимметрично, причем так, чтобы допуск был направлен «в тело» детали.

Эти и другие правила, нормы, требования к определенному объекту (в приведенных примерах объектами являлись линейные размеры, поля допусков основных отверстий и валов) оформляются в виде документа, называемого *стандартом*. Соответственно установление и применение указанных правил, норм, требований, т. е. стандартов, называется *стандартизацией*.

Стандартизация основывается на объединенных достижениях науки, техники и передового производственного опыта. Применительно к рассматриваемым нами вопросам она определяет не только сегодняшнее состояние науки о точности исполнения размеров и ее применение при изготовлении изделий, но и ее будущее развитие.

В более общем случае стандартизация предусматривает установление единых физических величин, терминов и обозначений, требований к продукции и производственным процессам (выбор и определение характеристик и качественных показателей продукции, методов контроля и измерения, технологических процессов и т. п.), а также требований, обеспечивающих безопасность труда и сохранность материальных ценностей.

Одним из наиболее распространенных и эффективных методов стандартизации является унификация. *Унификация* — латинское слово, обозначающее объединение, приведение чего-либо к единообразию, к единой форме или системе. При унификации в машиностроении уменьшают число типоразмеров изделий одинакового функционального назначения, максимально используют одинаковые узлы и детали (подшипники, болты, гайки и т. п.) в различных машинах, сокращают разнообразие применяемых в различных деталях подобных элементов (диаметров отверстий, размеров резьб и т. п.). Унификация позволяет обоснованно сужать перечень используемых в изделии марок материалов, разновидностей проката. Появляется возможность применения более совершенных технологических процессов, снижается себестоимость изготовления деталей, сокращаются сроки разработки и постановки изделий на производство.

В настоящее время в СССР в зависимости от сферы действия и уровня утверждения установлены четыре категории стандартов: государственные стандарты —

ГОСТ, отраслевые стандарты — ОСТ\*, республиканские стандарты — РСТ, стандарты предприятий (объединенный) — СТП.

Кроме перечисленных национальных стандартов существуют общие стандарты стран СЭВ (СТ СЭВ), их применение у нас в стране осуществляется оформлением в виде ГОСТ.

Обозначение стандарта состоит из соответствующей аббревиатуры (ГОСТ, ОСТ, РСТ, СТП), присвоенного порядкового номера и двух цифр, указывающих год его утверждения или пересмотра (например, ГОСТ 25346—82).

Органом, осуществляющим руководство стандартизацией в масштабе страны, является Государственный комитет СССР по стандартам (Госстандарт СССР). С целью упорядочения организационно-технической деятельности по стандартизации в народном хозяйстве (например, при введении новых стандартов) Госстандартом СССР разрабатываются и утверждаются руководящие документы (РД).

Для обеспечения наивысшей эффективности проведения важных работ общегосударственного значения разрабатываются взаимоувязанные стандарты, объединяемые в единые комплексные системы. Кратко ознакомимся с двумя такими системами.

**Единая система конструкторской документации (ЕСКД)** устанавливает порядок разработки, оформления, учета, хранения, размножения, изменения чертежей и другой конструкторской документации, разрабатываемой предприятиями и организациями СССР. ЕСКД обеспечивает взаимный обмен конструкторской документацией без каких-либо переделок, благодаря обязательным правилам оформления и соблюдения комплексности документации. Это облегчает техническую подготовку и переналадку производства, кооперирование (производственные связи между предприятиями) и унификацию при проектировании промышленной продукции. ЕСКД способствует снижению трудоемкости проектирования, так как допускает некоторые упрощения при разработке чертежей.

**Единая система технологической документации**

\* В период с 1925 по 1940 г. государственные стандарты имели обозначения ОСТ (общесоюзный стандарт), некоторые из них действуют в настоящее время и их не следует путать с отраслевыми, которые, как это видно ниже, обозначаются также — ОСТ.

(ЕСТД) устанавливает обязательный порядок разработки, оформления и обращения всех видов технологической документации на машино- и приборостроительных предприятиях СССР для изготовления, транспортирования, установки (монтажа) и ремонта изделий этих предприятий. На основе технологической документации осуществляют планирование, подготовку и организацию производства, устанавливают связи между отделами и цехами предприятий, а также между исполнителями (конструктором, технологом, мастером, рабочим). Технологическая документация начинает создаваться уже на стадии проектирования; на ней базируются изготовление, эксплуатация и ремонт изделий.

Как показывает практика, стандартизация обеспечивает прогресс народного хозяйства и стабильное повышение качества всех видов продукции. Под качеством продукции понимают совокупность ее свойств, обеспечивающих использование продукции в соответствии с ее назначением. Показателями качества готовой продукции прежде всего являются количественные характеристики одного или нескольких ее свойств, которые могут выражаться в различных единицах, например м/мин (скорость резания), ч (время безотказной работы), кВт (потребляемая мощность) и т. п. Можно понимать качество и в более широком смысле, выделяя при этом несколько групп показателей:

показатели назначения, количественно характеризующие основные функции продукции (мы уже говорили о них: мощность, скорость и т. п.);

экономические показатели, характеризующие затраты на изготовление продукции;

показатели надежности (долговечность, безотказность);

эргonomические показатели, характеризующие оптимальность условий труда, обеспечивающих наивысшую производительность и сохранение жизнедеятельности человека;

эстетические показатели, характеризующие рациональность и совершенство формы изделия;

показатели технологичности, характеризующие условия изготовления изделий с заданными свойствами при наименьших затратах;

экологические показатели, а также показатели безопасности, характеризующие при работе изделия сохранение окружающей среды и безопасность его обслуживания.



В процессе эксплуатации продукции (до полного физического износа или морального старения) качество поддерживается соблюдением установленных правил эксплуатации и ремонта.

Проблема систематического повышения качества продукции имеет большое политическое, социальное, экономическое и научно-техническое значение. Высокое качество продукции обеспечивает ей конкурентоспособность на мировом рынке, является лучшим свидетельством всеобщего прогресса социалистического общества.

Важным стимулом повышения качества продукции служит периодическая аттестация качества. Существуют две категории качества: высшая и первая.

По высшей категории аттестуется промышленная продукция, отвечающая нормативно-технической документации, по которой она выпускается, и находящаяся на уровне лучших мировых достижений или превосходящая их. Такая продукция характеризуется высокой стабильностью показателей качества. В результате аттестации ей присваивается государственный Знак качества.

К первой категории относится продукция, по технико-экономическим показателям соответствующая стандартам для ее серийного выпуска, удовлетворяющая современные требования народного хозяйства и населения страны. Если продукция при очередной переаттестации не соответствует указанным требованиям, то она снимается с производства.

Срок действия категорий качества в каждом отдельном случае устанавливается Государственной аттестационной комиссией дифференцированно с учетом сроков морального старения аттестуемой продукции и необходимости ее обновления.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое взаимозаменяемость?
2. Что такое стандарт? Какие существуют категории стандартов?
3. Что включает понятие «качество продукции»?
4. В чем проявляется влияние стандартизации на качество продукции?
5. Какие существуют категории качества продукции? Дать характеристики продукции по каждой категории качества.

§ 2.1. Единая система допусков и посадок СЭВ  
(ЕСДП СЭВ)

Общие сведения об ЕСДП СЭВ. В гл. 1 была показана необходимость назначения конструктором допусков и посадок в соответствии с определенными правилами и требованиями — стандартами.

Действующая в настоящее время в СССР система стандартов на допуски и посадки для гладких деталей и соединений разработана в соответствии с комплексной программой развития сотрудничества и социалистической экономической интеграции (интеграция — латинское слово, означающее объединение) стран — членов Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ). Она получила название *Единой системы допусков и посадок СЭВ* (ЕСДП СЭВ) и включает ряд стандартов, основными из них являются следующие: «Общие положения, ряды допусков и предельных отклонений» (ГОСТ 25346—82). «Поля допусков и рекомендуемые посадки» (ГОСТ 25347—82). Эти стандарты распространяются на сопрягаемые (т. е. применяемые при образовании посадок) и не сопрягаемые размеры гладких элементов (цилиндрических или ограниченных параллельными плоскостями) деталей с номинальными размерами до 3150 мм\* область их действия не ограничена какими-либо определенными материалами или способами обработки, за исключением тех случаев, которые охвачены специальными стандартами, например, на допуски и посадки деталей из пластмасс, дерева, допуски отливок и т. п.

Так как в общем машиностроении наиболее часто применяются размеры до 500 мм, то именно этот диапазон мы и будем рассматривать в дальнейшем.

Знание системы допусков и посадок и умение использовать ее при обработке изделий, соединений их в сборочные единицы, ремонте является обязательной частью квалификационных требований токаря, фрезеровщика слесаря, наладчика автоматов, полуавтоматов и автоматических линий металлообрабатывающих станков, всех других профессий металлообработки. Без знания систе

---

\* Аналогичный стандарт — ГОСТ 25348—82 охватывает размеры от 3150 до 10 000 мм.

мы допусков и посадок невозможно читать конструкторскую и технологическую документацию (чертежи, технологические карты), пользоваться технической литературой и справочниками, владеть техникой и средствами измерений.

Чтобы изучить ЕСПД СЭВ, необходимо подробно рассмотреть применительно к ней следующие вопросы: интервалы размеров, единицы допуска, ряды точности, поля допусков отверстий и валов, нанесение предельных размеров на чертежах деталей, посадки в системах отверстия и вала и их обозначения на чертежах.

**Интервалы размеров.** Единая система допусков и посадок (т. е. все стандарты, входящие в нее) оформлена в виде таблиц, в которых для номинальных размеров заданы научно обоснованные величины предельных отклонений для разных полей допусков отверстий и валов. В строках таблиц указаны номинальные размеры, в колонках — поля допусков и соответствующие им предельные отклонения. Формально следовало бы в указанных таблицах иметь число строк, равное числу охваченных стандартом номинальных размеров. Но такие таблицы были бы очень громоздкими. Поскольку технологической практикой обработки деталей установлено, что трудность их изготовления почти не различается в определенном интервале размеров, то при создании системы было признано целесообразным допуски задавать не для каждого размера, а принять их одинаковыми для выделенных интервалов размеров.

В наиболее важном диапазоне номинальных размеров от 1 до 500 мм в ЕСПД СЭВ установлены интервалы номинальных размеров, приведенные в табл. 1.

При пользовании таблицами ЕСПД СЭВ надо обратить внимание, что интервалы номинальных размеров указаны с добавлением слов «свыше» (сокращенно св.) и «до». Это означает, что последняя цифра (или число) интервала относится к данному интервалу.

Пример. Номинальный размер 30 мм относится к интервалу «свыше 18 до 30 мм», а не к интервалу «свыше 30 до 50 мм»; номинальный размер 18 мм относится к интервалу «свыше 10 до 18 мм», а не к интервалу «свыше 18 до 30 мм».

**Единицы допуска.** Как создавались таблицы стандартов ЕСПД СЭВ, из которых конструктор выбирает необходимую величину допуска? Казалось бы закономерность ясна: чем выше требуемая точность обработки, тем меньше должен быть допуск. Но это оказалось

## 1. Интервалы номинальных размеров, мм

Основные интервалы		Промежуточные интервалы	
свыше	до	свыше	до
—	3	—	—
3	6	—	—
6	10	—	—
10	18	10	14
		14	18
18	30	18	24
		24	30
30	50	30	40
		40	50
50	80	50	65
		65	80
80	120	80	100
		100	120
120	180	120	140
		140	160
		160	180
180	250	180	200
		200	225
		225	250
250	315	250	280
		280	315
315	400	315	355
		355	400
400	500	400	450
		450	500

справедливым лишь для сравнения относительной точности при одинаковых номинальных размерах. Действительно, при обработке вала с номинальным размером 10 мм выдержать допуск 0,06 мм вдвое легче, чем допуск 0,03 мм. В то же время было установлено, что с увеличением размера обрабатываемой поверхности один и тот же допуск выдерживать становится все труднее, т. е. точность таких размеров как бы возрастает. Так, при одинаковом допуске 0,06 мм обработать вал с номинальным размером 50 мм значительно труднее, чем вал с номинальным размером 10 мм.

Потребовалось опытным путем определить закономерность изменения величины допуска с изменением номинального размера. Практикой в качестве единицы точности, с помощью которой можно выразить зависимость точности от номинального размера, была установлена единица допуска  $i$ . Рабочему в своей практической деятельности единицами допуска пользоваться не при-

ходится; числовые значения допусков уже подсчитанных с учетом единицы допуска приведены в ГОСТ 25346—82, о чем будет рассказано ниже.

**Ряды точности.** Мы уже отмечали, что разные детали машин в зависимости от назначения и условий работы требуют разной точности изготовления. В ЕСПД СЭВ предусмотрено несколько рядов точности, названных квалитетами. *Квалитет* — это совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров. Иначе говоря, каждый квалитет характеризуется определенным числом единиц допуска — таков был принцип составления стандарта на основе строгой закономерности изменения величины допуска с учетом номинального размера.

Для размеров от 1 до 500 мм установлено девятнадцать квалитетов: 01, 0 и с 1-го по 17-й. С возрастанием номера квалитета допуск увеличивается, т. е. точность убывает. Для посадок предусмотрены квалитеты с 5-го по 12-й.

Допуски в каждом квалитете ЕСПД СЭВ обозначаются двумя буквами латинского алфавита (*IT*) с добавлением номера квалитета. Например, *IT5* — означает допуск по 5-му квалитету, а *IT10* — допуск по 10-му квалитету.

Мы уже упоминали, что в ГОСТ 25346—82 приведены числовые значения допусков. Теперь уточняем — числовые значения допусков приведены для каждого квалитета и с учетом номинальных размеров. Для наиболее употребительных в общем машиностроении квалитетов (с 5-го по 17-й) значения допусков приведены в табл. 2.

Внимательно просмотрев любую строку табл. 2, еще раз отметим, что допуски одинаковых размеров в разных квалитетах различны, т. е. *квалитеты определяют различную точность одинаковых номинальных размеров.*

И еще один, пожалуй, самый важный для квалифицированного рабочего вывод. Так как различные способы обработки деталей обладают определенной экономически достижимой точностью, то назначение квалитета (а значит и допуска) конструктором и указание его на чертеже фактически задают технологию обработки деталей.

Приведем ориентировочные данные о том, какие квалитеты (т. е. какая точность) обеспечиваются тем или иным технологическим процессом обработки:

## 2. Значения допусков, мкм

Интервалы номинальных размеров, мм	Квалитеты																
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000				
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	481	751	1200				
Св. 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500				
Св. 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800				
Св. 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100				
Св. 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500				
Св. 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000				
Св. 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500				
Св. 120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000				
Св. 180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600				
Св. 250 до 315	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3300	5200				
Св. 315 до 400	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5706				
Св. 400 до 500	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300				

валы 5-го качества и отверстия 5—6-го качества получают круглым шлифованием;

валы 6—7-го и отверстия 7—8-го качества — тонким точением или растачиванием, чистовым развертыванием, чистовым протягиванием, холодной штамповкой в вырубных штампах;

валы 8—9-го и отверстия 9-го качества — тонким строганием, тонким фрезерованием, полустивым развертыванием, тонким шабрением, холодной штамповкой в вытяжных штампах;

валы и отверстия 10-го качества получают чистовым зенкерованием и другими способами, как и для 9-го качества;

валы и отверстия 11-го качества получают чистовым строганием, чистовым фрезерованием, чистовым обтачиванием, сверлением по кондуктору, литьем по выплавляемым моделям, другими способами, как для 9-го и 10-го качества;

валы и отверстия 12—13-го качества получают черновым строганием и точением, чистовым долблением, черновым фрезерованием, сверлением без кондуктора, черновым зенкерованием, полустивым растачиванием.

валы и отверстия 14—17-го качества получают черновой токарной обработкой, резкой ножницами и пилами, автоматической газовой резкой, резкой резцом и фрезой, черновым долблением, литьем в песчаные формы.

Почему в указанных ориентировочных данных при обработке с повышенной точностью (5—9-й качества) допуски для отверстий обычно на один качество выше, чем для валов? Дело в том, что точное отверстие, т. е. внутреннюю поверхность, труднее обработать и измерить, чем вал той же точности.

Наиболее широко во всех отраслях машиностроения для ответственных сопряжений (посадок) применяются 6—7-й качества; в случае относительно больших зазоров и натягов — 8—10-й качества; 11—12-й качества используются для грубых соединений.

Остальные качества (чаще всего 12—14-й) используются для *несопрягаемых элементов* детали, в таких случаях *размеры называют свободными*.

**Поля допусков отверстий и валов.** Поле допуска определяет величину допуска и его положение относительно номинального размера, а взаимное расположение полей допусков сопрягаемых деталей характеризует тип посадки и величины наибольших и наименьших зазоров или натягов. Посадки могут образовываться как в системе отверстия, так и в системе вала.

Для образования посадок в ЕСП СЭВ стандартизованы (независимо друг от друга) два параметра, из которых образуются поля допусков: ряды и значения допусков в разных качествах (см. табл. 2) и так называемые основные отклонения валов и отверстий для определения положения поля допуска относительно номинального размера (нулевой линии). В качестве *основного отклонения* принято отклонение, ближайшее к ну-

левой линии, характеризующее возможное минимальное отклонение размера при обработке от номинального. Числовые значения основных отклонений стандартизованы применительно к интервалам номинальных размеров.

Таким образом, поле допуска в ЕСДП СЭВ образуется сочетанием основного отклонения и качества. В этом сочетании основное отклонение характеризует положение поля допусков относительно нулевой линии, а качество — величину допуска.

Для образования полей допусков в ЕСДП СЭВ в каждом интервале номинальных размеров установлен ряд допусков из 19 качеств по 28 основных отклонений полей допусков валов и отверстий. Основные отклонения обозначают одной буквой (в отдельных случаях двумя для сопряжений точного машиностроения) латинского алфавита: прописными (*A, B, C, CD, D* и т. д.) — для отверстий и строчными (*a, b, c, cd, d* и т. д.) — для валов.

На рис. 2.1 показано положение полей допусков в разных качествах при одинаковом номинальном размере.

Основные отклонения валов зависят от номинальных размеров и остаются постоянными для всех качеств. Исключения составляют основные отклонения отверстий

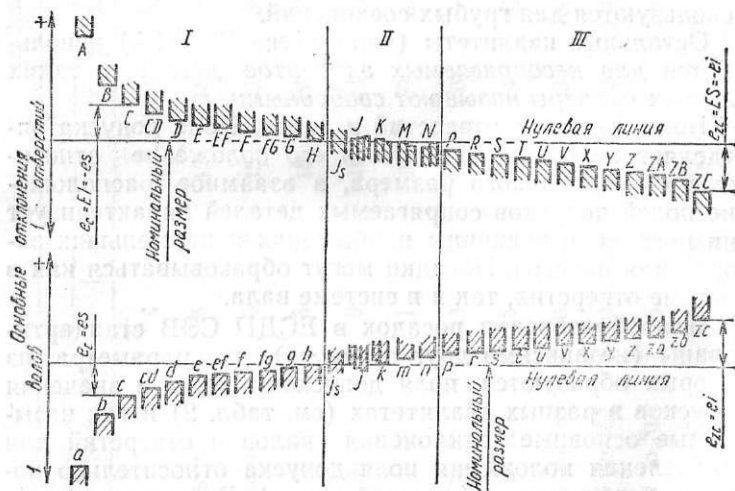


Рис. 2.1. Положение полей допусков в ЕСДП СЭВ



$J, K, M, N$  и валов  $j$  и  $k$ , которые при одинаковых номинальных размерах в разных квалитетах имеют различные значения. Поэтому на рис. 2.1 поля допусков с отклонениями  $J, K, M, N, j, k$  разделены на части и показаны ступенчатыми.

Все поля допусков (кроме  $J_s$  и  $j_s$ , которые расположены симметрично относительно нулевой линии) ограничены горизонтальными линиями только с одной стороны: с нижней, если поле допуска расположено выше нулевой линии, или с верхней, если оно расположено ниже нулевой линии. Это объясняется тем, что при одном и том же номинальном размере для всех квалитетов допуск имеет различные значения, а основные отклонения не изменяются.

Основными отклонениями служат: для валов  $a-h$  верхние отклонения  $-es$ ; для отверстий  $A-H$  нижние отклонения  $+EI$ ; для валов  $j-zc$  нижние отклонения  $\Delta et$ ; для отверстий  $J-ZC$  верхние отклонения  $-ES$ .

Основные отклонения валов при разработке ЕСДП СЭВ вычислены по эмпирическим формулам. Основные отклонения отверстий при этом подобраны так, чтобы допускать образование посадок в системе отверстия и в системе вала с равными зазорами и натягами. Таким образом, основные отклонения отверстий являются относительно нулевой линии зеркальным отражением основных отклонений валов.

Для пользования стандартами и чтения размеров на чертежах надо обязательно знать следующее.

Характер написания буквы (прописная или строчная) в конструкторской и технологической документации дает полное представление об элементе детали (вал или отверстие), к которому относится поле допуска. Это исключает возможность ошибок при последующем определении числовых значений предельных отклонений по таблицам.

Поля допусков основных отверстий обозначаются буквой  $H$ , а основных валов  $-h$  с добавлением номера квалитета, например  $H7, H8, H9$  и т. д., при этом нижние отклонения всегда равны нулю, и соответственно  $h7, h8, h9$  и т. д., при этом верхние отклонения всегда равны нулю.

Для номинальных размеров от 1 до 500 мм в ЕСДП СЭВ установлено 77 полей допусков валов и 68 полей допусков отверстий. Число полей допусков отверстий

## 3. Предпочтительные поля допусков валов по ЕСДП СЭВ (выборка из ГОСТ 25347—82)

Интервалы номинальных размеров, мм	Поля допусков																
	Квалитет 6						Квалитет 7					Квалитет 8		Квалитет 9		Квалитет 11	
	g6	h6	js6	k6	n6	p6	r6	s6	f7	h7	e8	h8	d9	h9	d11	h11	
От 1 до 3	-2	0	+3	+6	+10	+12	+16	+20	-6	0	-14	-0	-20	0	-20	0	
	-8	-6	-3	0	+4	+6	+10	+14	-16	-10	-28	-14	-45	-25	-80	-60	
Св. 3 до 6	-4	0	+4	+9	+16	+20	+23	+27	-10	0	-20	0	-30	0	-30	0	
	-12	-8	-4	+1	+8	+12	+15	+19	-22	-12	-38	-18	-60	-30	-105	-75	
Св. 6 до 10	-5	0	+4,5	+10	+19	+24	+28	+32	-13	0	-25	0	-40	0	40	0	
	-14	-9	-4,5	+1	+10	+15	+19	+23	-28	-15	-47	-22	-76	-36	-130	-90	
Св. 10 до 14	-5	0	+5,5	+12	+23	+29	+34	+39	-16	0	-32	0	-50	0	-50	0	
Св. 14 до 18	-17	-11	-5,5	+1	+12	+18	+23	+28	-34	-18	-59	-27	-93	-43	-160	-110	
Св. 18 до 24	-7	0	+6,5	+15	+28	+35	+41	+48	-20	0	-40	0	-65	0	-65	0	
Св. 24 до 30	-20	-13	-6,5	+2	+15	+22	+28	+35	-41	-21	-73	-33	-117	-52	-195	-130	
Св. 30 до 40	-9	0	+8	+18	+33	+42	+50	+59	-25	0	-50	0	-80	0	-80	0	
Св. 40 до 50	-25	-16	-8	+2	+17	+26	+34	+43	-50	-25	-89	-39	-142	-62	-240	-160	

Предельные отклонения, мкм

Св. 65 до 80	-29	-19	-9,5	+2	+30	+32	+62	+78	-60	-30	-106	-46	-174	-74	-290	-190
							+43	+59								
Св. 80 до 100	-12	0	+11	+25	+45	+59	+73	+93	-36	0	-72	0	-120	0	-120	0
							+51	+71								
Св. 100 до 120	-34	-22	-11	+3	+23	+37	+76	+101	-71	-35	-126	-54	-207	-87	-340	-220
							+54	+79								
Св. 120 до 140							+88	+117								
							+63	+92								
Св. 140 до 160	-14	0	+12,5	+28	+52	+68	+90	+125	-43	0	-85	0	-145	0	-145	0
	-39	-25	-12,5	+3	+27	+43	+65	+100	-83	-40	-148	-63	-245	-100	-395	-250
Св. 160 до 180							+93	+133								
							+68	+108								
Св. 180 до 200							+106	+151								
							+77	+122								
Св. 200 до 225	-15	0	+14,5	+33	+60	+79	+109	+159	-50	0	-100	0	-170	0	-170	0
	-44	-29	-14,5	+4	+31	+50	+80	+130	-96	-46	-172	-285	-285	-115	-460	-290
Св. 225 до 250							+113	+169								
							+84	+140								

Интервалы номинальных размеров, мм	Поля допусков															
	Квалитет 6			Квалитет 7			Квалитет 8			Квалитет 9		Квалитет 11				
	g6	h6	js6	k6	n6	p6	r6	s6	f7	h7	e8	h8	d9	h9	d11	h11
Предельные отклонения, мкм																
Св. 250 до 280	-17	0	+16	+36	+66	+88	+126	+190	-56	0	-110	0	-190	0	-190	0
							+94	+158								
Св. 280 до 315	-49	-32	-16	+4	+34	+56	+130	+202	-108	-52	-191	-81	-320	-130	-510	-320
							+98	+170								
Св. 315 до 355	-18	0	+18	+40	+73	+98	+144	+226	-62	0	-125	0	-210	0	-210	0
							+108	+190								
Св. 355 до 400	-54	-36	-18	+4	+37	+62	+150	+244	-119	-57	-214	-89	-350	-140	-570	-360
							+144	+208								
Св. 400 до 450	-20	0	+20	+45	+80	+108	+166	+272	-68	0	-135	0	-230	0	-230	0
							+126	+232								
Св. 450 до 500	-60	-40	-20	+5	+40	+68	+172	+292	-131	-63	-232	-97	-385	-155	-630	-400
							+132	+252								

Интервалы номиналь- ных размеров, мм	Квалитет 7			Квалитет 8			Квалитет 9			Квалитет 11
	Поля допусков									
	H7	I <sub>S</sub> 7	K7	N7	P7	F8	H8	E9	H9	H11
От 1 до 3	+10 0	+5 -5	0 -10	-4 -14	-6 -16	+20 +6	+14 0	+34 +19	+25 0	+60 0
Св. 3 до 6	+12 0	+6 -6	+3 -9	-4 -16	-8 -20	+28 +10	+18 0	+50 +20	+30 0	+75 0
Св. 6 до 10	+15 0	+7 -7	+5 -10	-4 -19	-9 -24	+35 +13	+22 0	+61 +25	+36 0	+90 0
Св. 10 до 18	+18 0	+9 -9	+6 -12	-5 -23	-11 -29	+43 +16	+27 0	+75 +32	+43 0	+110 0
Св. 18 до 30	+21 0	+10 -10	+6 -15	-7 -28	-14 -35	+53 +20	+33 0	+92 +40	+52 0	+130 0
Св. 30 до 50	+25 0	+12 -12	+7 -18	-8 -33	-17 -42	+64 +25	+39 0	+112 +50	+62 0	+160 0

Предельные отклонения, мкм

Интервалы номинальных размеров, мм	Квалитет 7			Квалитет 8			Квалитет 9		
	Поля допусков								
	H7	I <sub>S</sub> 7	K7	N7	P7	F8	H8	E9	H9
Св. 50 до 80	+30	+15	+9	-9	-21	+76	+46	+134	+77
	0	-15	-21	-39	-51	-30	0	+60	0
Св. 80 до 120	+35	+17	+10	-10	-24	+90	+54	+159	+87
	0	-17	-25	-45	-59	+36	0	+72	0
Св. 120 до 180	+40	+20	+12	-12	-28	+106	+63	+185	+111
	0	-20	-28	-52	-68	+43	0	+85	0
Св. 180 до 250	+46	+23	+13	-14	-33	+122	+72	+215	+141
	0	-23	-33	-60	-79	+50	0	+100	0
Св. 250 до 315	+52	+26	+16	-14	-36	+137	+81	+240	+151
	0	-26	-36	-66	-88	+56	0	+110	0
Св. 315 до 400	+57	+28	+17	-16	-41	+151	+89	+265	+161
	0	-28	-40	-73	-98	+62	0	+15	0
Св. 400 до 500	+63	+31	+18	-17	-45	+165	+97	+290	+171
	0	-31	-45	-80	-108	+68	0	+135	0

Пределыные отклонения, мкм

Интервалы  
номинальных  
размеров, мм

Валы

Поля допусков

Отверстия

Интервалы номинальных размеров, мм	Валы							Отверстия						
	$h_{12}$	$j_s^{12}$	$h_{14}$	$i_s^{14}$	$h_{16}$	$i_s^{16}$	$H_{12}$	$J_S^{12}$	$H_{14}$	$J_S^{14}$	$H_{16}$	$J_S^{16}$		
От 1 до 3	0 -100	+50 -50	0 -250	+125 -125	0 -600	+300 -300	+100 0	+50 -50	+250 0	+125 -125				
Св. 3 до 6	0 -120	+60 -60	0 -300	+150 -150	0 -750	+375 -375	+120 0	+60 -60	+300 0	+150 -150				
Св. 6 до 10	0 -150	+75 -75	0 -360	+180 -180	0 -990	+450 -450	+150 0	+75 -75	+360 0	+180 -180				
Св. 10 до 18	0 -180	+90 -90	0 -430	+215 -215	0 -1100	+550 -550	+180 0	+90 -90	+430 0	+215 -215				
Св. 18 до 30	0 -210	+105 -105	0 -520	+260 -260	0 -1300	+650 -650	+210 0	+105 -105	+520 0	+260 -260				
Св. 30 до 50	0 -250	+125 -125	0 -620	+310 -310	0 -1600	+800 -800	+250 0	+125 -125	+620 0	+310 -310				
Св. 50 до 80	0 -300	+150 -150	0 -740	+370 -370	0 -1900	+950 -950	+300 0	+150 -150	+740 0	+370 -370				

Предельные отклонения, мкм

Интервалы формальных размеров, мм	Валы						Отверстия					
	Поля допусков											
	$h_{12}$	$i_{12}$	$h_{14}$	$i_{14}$	$h_{16}$	$i_{16}$	$H_{12}$	$J_{S12}$	$H_{14}$	$J_{S14}$	$H_{16}$	$J_{S16}$
Пределные отклонения, мкм												
Св. 80 до 120	0 -350	+175 -175	0 -870	+435 -435	0 -2200	+1100 -1100	+350 0	+175 -175	+870 0	+435 -435	+2200 0	+1100 -1100
Св. 120 до 180	0 -400	+200 -200	0 -1000	+500 -500	0 -2500	+1250 -1250	+400 0	+200 -200	+1000 0	+500 -500	+2500 0	+1250 -1250
Св. 180 до 250	0 -460	+230 -230	0 -1150	+575 -575	0 -2900	+1450 -1450	+460 0	+230 -230	+1150 0	+575 -575	+2900 0	+1450 -1450
Св. 250 до 315	0 -520	+260 -260	0 -1300	+650 -650	0 -3200	+1600 -1600	+520 0	+260 -260	+1300 0	+650 -650	+3200 0	+1600 -1600
Св. 315 до 400	0 -570	+285 -285	0 -1400	+700 -700	0 -3600	+1800 -1800	+570 0	+285 -285	+1400 0	+700 -700	+3600 0	+1800 -1800
Св. 400 до 500	0 -630	+315 -315	0 -1550	+775 -775	0 -4000	+2000 -2000	+630 0	+315 -315	+1550 0	+775 -775	+4000 0	+2000 -2000



сокращено за счет полей допусков, применяемых для посадок с натягами в системе вала. Из указанного числа выделены предпочтительные поля допусков для первоочередного применения при образовании посадок.

Ниже приведены выборки из ГОСТ 25347—82 «Поля допусков и рекомендуемые посадки», входящего в ЕСДП СЭВ: предпочтительные поля допусков валов (табл. 3) и отверстий (табл. 4) для наиболее употребительных в общем машиностроении квалитетов (с 6-го по 11-й) и рекомендуемые предельные отклонения для неответственных несопрягаемых размеров (табл. 5). По этим таблицам для каждого номинального размера (точнее, для интервала, в пределах которого находится размер) можно в соответствии с обозначением поля допуска определить числовые значения предельных отклонений. Правила и примеры пользования указанными таблицами мы рассмотрим после того, как познакомимся со способами нанесения предельных отклонений размеров на чертежах.

**Нанесение предельных отклонений размеров на чертежах деталей.** Нанесение предельных отклонений размеров на чертежах осуществляется в соответствии с ГОСТ 2.307—68\*, входящими в Единую систему конструкторской документации (ЕСКД). Предусмотрено три способа указания отклонений:

числовыми значениями предельных отклонений, например  $18^{+0,018}$ ,  $12_{-0,032}^{-0,059}$ ;

условными обозначениями полей допусков, например  $18H7$ ,  $12e8$ ;

условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений, например  $18H7^{(+0,018)}$ ,  $12e8^{(-0,032)}_{(-0,059)}$ .

Во всех случаях вначале указывается номинальный размер (в приведенных примерах 18 и 12 мм).

Числовые значения предельных отклонений конструктор задает в том случае, если чертеж предназначен для использования при изготовлении деталей в единичном и мелкосерийном производстве, при ремонтных работах, когда рабочий будет применять универсальный измерительный инструмент, т. е. устанавливать действительный размер.

И наоборот, применение бесшкальных инструментов, предназначенных только для ответа — деталь годная

\* С изменением № 2 (июнь 1983 г.).

или деталь бракованная (такие инструменты называются калибрами, и о них мы подробно расскажем позже), предполагает использование условных обозначений полей допусков. В этом случае те же условные обозначения полей допусков указываются на бесшкальных инструментах (калибрах).

Наиболее предпочтительным является комбинированное указание отклонений (условными обозначениями и числами), в этом случае рабочему удобно пользоваться чертежом в любых условиях.

Рассмотрим примеры определения числовых значений предельных отклонений по табл. 3 и 4. Табл. 3 содержит предельные отклонения валов, табл. 4 — предельные отклонения отверстий. Строки таблиц — интервалы номинальных размеров, мм, колонки — поля допусков. Искомые величины предельных отклонений, мкм, вала или отверстия находятся на пересечении строки, интервал номинальных размеров которой соответствует заданному на чертеже номинальному размеру, с колонкой, в которой обозначено заданное поле допуска (буква и номер качества).

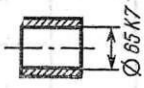
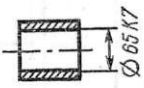
**Пример 1.** Определить предельные отклонения, если на чертеже указан размер  $8k6$ . По табл. 3 на пересечении строки св. 6 до 10 с колонкой  $k6$  находим предельные отклонения, мкм:  $+10$  и  $+1$ . Следовательно, размер  $8k6$  соответствует размеру  $8_{+0,010}^{+0,001}$ .

**Пример 2.** Определить предельные отклонения, если на чертеже указан размер  $30H7$ . По табл. 4 на пересечении строки св. 18 до 30 с колонкой  $H7$  находим предельные отклонения, мкм:  $+21$  и  $0$ . Таким образом, размеру  $30H7$  соответствует размер  $30_{+0,021}^{+0}$ .

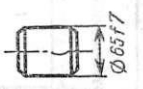
Аналогично рассмотренным табл. 3 и 4 с предпочтительными полями допусков для образования посадок построена табл. 5, по которой выбираются предельные отклонения для неотчетливых несопрягаемых размеров. Обычно, указывая такие размеры на чертежах, конструктор ограничивается отклонениями по 12-му, 14-му, реже 16-му качествам и принимают при этом следующее расположение полей допусков относительно номинального размера: для отверстий — в плюс ( $H12$ ,  $H14$ ,  $H16$ ); для валов — в минус ( $h12$ ,  $h14$ ,  $h16$ ); для размеров, не относящихся к отверстиям и валам (глубина, высота) — симметричное  $\left(\pm \frac{IT}{2}\right)$ . Как и при использовании предыдущими таблицами, искомые величины предельных отклонений находятся на пересечении строки, соответствующей размеру, с колонкой, в которой обозначено заданное на чертеже поле допуска.

Для лучшего усвоения новых понятий проанализируем решение упражнений 9 и 10 (упражнение 10 является продолжением упражнения 9, в них использованы одни и те же исходные данные).

### У п р а ж н е н и е 9. Чтение размеров

Основные понятия, выявляемые при чтении размера		
Номинальный размер, мм	65,0	65,0
Поле допуска	<i>f7</i>	<i>K7</i>
Верхнее предельное отклонение, мм	-0,030	+0,009
Нижнее предельное отклонение, мм	-0,060	-0,021
Наибольший предельный размер, мм	64,870	65,009
Наименьший предельный размер, мм	64,840	64,979
Допуск, мм	0,030	0,030

### У п р а ж н е н и е 10. Определение годности действительных размеров

Действительные размеры, мм		
	Заключение о годности	
64,845	Годен	Брак исправ.
64,856	»	То же
65,000	Брак исправ.	Годен
65,005	То же	»
65,015	»	Брак неисправ.

**Посадки в системах отверстия и вала и их обозначения на чертежах.** Для образования посадок в ЕСДП СЭВ используются квалитеты с 5-го по 12-й т. е. отверстия и валы обрабатываются с точностью, задаваемой допусками по этим квалитетам.

Так как посадки образуются сочетанием установленных стандартом полей допусков отверстий и валов, то теоретически возможно использовать для образования посадки любое из множества таких сочетаний. Но экономически такое многообразие невыгодно, мы упоминали ранее, что стандартизация обязательно предполагает унификацию. Поэтому в ЕСДП СЭВ рекомендуется к применению 68 посадок, из них выделены к предпочтительному первоочередному применению 17 посадок в системе отверстия (табл. 6) и 10 посадок в системе вала

## 6. Рекомендуемые посадки в системе отверстия при номинальных размерах от 1 до 500 мм

Основные отклонения валов										
Основное отверстие	a	b	c	d	e	f	g	h	$j_s$	k
Посадки										
H5							$\frac{H5}{g4}$	$\frac{H5}{h4}$	$\frac{H5}{j_s4}$	$\frac{H5}{k4}$
H6						$\frac{H6}{f6}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H6}{h5}$	$\frac{H6}{j_s5}$	$\frac{H6}{k5}$
H7			$\frac{H7}{c8}$	$\frac{H7}{d8}$	$\frac{H7}{e7}$	$\frac{H7}{f7}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H7}{h6}$	$\frac{H7}{j_s6}$	$\frac{H7}{k6}$

$H_8$	$\frac{H_8}{c_8}$	$\frac{H_8}{d_8}$	$\frac{H_8}{e_8}$	$\frac{H_8}{f_7}; \frac{H_8}{f_8}$	$\frac{H_8}{h_7}; \frac{H_8}{h_8}$	$\frac{H_8}{j_5}$	$\frac{H_8}{k_7}$
		$\frac{H_8}{d_9}$	$\frac{H_8}{e_9}$	$\frac{H_8}{f_9}$	$\frac{H_8}{h_9}$		
$H_9$		$\frac{H_9}{d_9}$	$\frac{H_9}{e_8}; \frac{H_9}{e_9}$	$\frac{H_9}{f_8}; \frac{H_9}{f_9}$	$\frac{H_9}{h_8}; \frac{H_9}{h_9}$		
$H_{10}$		$\frac{H_{10}}{d_{10}}$			$\frac{H_{10}}{h_9}; \frac{H_{10}}{h_{10}}$		
$H_{11}$	$\frac{H_{11}}{a_{11}}$	$\frac{H_{11}}{b_{11}}$	$\frac{H_{11}}{c_{11}}$	$\frac{H_{11}}{d_{11}}$	$\frac{H_{11}}{h_{11}}$		
$H_{12}$		$\frac{H_{12}}{b_{12}}$			$\frac{H_{12}}{h_{12}}$		

		Основные отклонения валов										
Основное отверстие		m	n	p	r	s	t	u	v	x	z	
		Посадки										
H5		$\frac{H5}{m4}$	$\frac{H5}{n4}$									
H6		$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H6}{n5}$	$\frac{H6}{p5}$	$\frac{H6}{r5}$	$\frac{H6}{s5}$						
H7		$\frac{H7}{m6}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{H7}{s6}$ ; $\frac{H7}{s7}$	$\frac{H7}{t6}$	$\frac{H7}{u7}$				

H8	$\frac{H8}{m7}$	$\frac{H8}{n7}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H8}{u8}$	$\frac{H8}{v8}$	$\frac{H8}{x8}$	$\frac{H8}{y8}$
H9							
H10							
H11							
H12							

Примечание. В рамках указаны предпочтительные посадки.

(табл. 6 посадок не приводит), образованных из предпочтительных полей допусков.

При размерах более 1 мм точные отверстия труднее обрабатывать, чем точные валы, поэтому при этих размерах применение отверстий повышенной точности ограничено и в квалитетах с 5-го по 9-й посадки получают сочетанием валов с менее точными (на один, реже на два квалитета) отверстиями.

Обозначение посадки на сборочном чертеже в соответствии с ГОСТ 2.307—68\* состоит из указаний полей допусков сопрягаемых деталей, при этом указание оформляется как бы в виде простой дроби. Вначале записывается номинальный размер соединения (он одинаков для сопрягаемых отверстия и вала), затем над чертой (в числителе) указывается поле допуска отверстия, а под чертой (в знаменателе) — поле допуска вала. Вместо условных обозначений полей допусков можно указывать в числителе и знаменателе предельные отклонения сопрягаемых деталей.

Такая форма обозначения посадок одинака: и для посадок в системе отверстия, и для посадок в системе вала.

Пример 1. Обозначение посадки в системе отверстия:  $\varnothing 75 \frac{H7}{h6}$   
 (H7 — поле допуска основного отверстия) или  $\varnothing 75 \frac{+0,030}{+0,039}$   
 $\frac{-0,03}{+0,03}$

Пример 2. Обозначение посадки в системе вала:  $\varnothing 50 \frac{E9}{h8}$   
 (h8 — поле допуска основного вала или  $\varnothing 50 \frac{+0,112}{+0,050}$   
 $\frac{-0,039}{-0,039}$

Посадки с натягом по значению гарантированного натяга подразделяют на три подгруппы:

*посадки с минимальным гарантированным натягом*  
 $\left( \frac{H7}{r6}, \frac{P7}{h6}, \frac{H6}{f5}, \frac{P6}{h5} \right)$  применяют при малых нагрузках и для уменьшения деформаций собранных деталей; неподвижность соединения обеспечивают дополнительным креплением; эти посадки допускают редкие разборки;

*посадки с умеренными гарантированными натягами*  
 $\left( \frac{H7}{r6}, \frac{H7}{s6}, \frac{H8}{s7}, \frac{H7}{t6}, \frac{R7}{h6}, \frac{T7}{h6}, \frac{H6}{r5}, \frac{H6}{s5} \right)$   
 допускают передачу нагрузок средней величины без дополнительного крепления, а также с дополнительным креплением; могут применяться для передачи больших нагрузок, если прочность деталей не позволяет приме-



нить посадки с большими натягами; сборка может производиться под прессом или способом термических деформаций;

*посадки с большими гарантированными натягами* ( $\frac{H7}{h7}$ ,  $\frac{H8}{h8}$ ,  $\frac{U8}{h7}$ ,  $\frac{H8}{x8}$ ,  $\frac{H8}{z8}$ ) передают тяжелые и динамические нагрузки без дополнительного крепления; необходима проверка соединяемых деталей на прочность; сборка осуществляется в основном способом термических деформаций.

*Переходные посадки* образуются полями допусков, которые установлены в качествах 4—8; характеризуются возможностью получения сравнительно небольших зазоров или натягов; применяются в неподвижных разъемных соединениях при необходимости точного центрирования при этом необходимо дополнительное крепление собранных деталей. Такие посадки подразделяются на три подгруппы:

*посадки с более вероятными натягами* ( $\frac{H7}{m6}$ ,  $\frac{M7}{h6}$ ,  $\frac{H7}{h6}$ ,  $\frac{N7}{h6}$ ) применяют при больших ударных нагрузках, при повышенной точности центрирования и редких разборках, а также при затрудненной сборке вместо посадок с минимальным гарантированным натягом;

*посадки с равновероятными натягами и зазорами* ( $\frac{H7}{h6}$ ,  $\frac{K7}{h6}$ ) имеют наибольшее применение из переходных посадок, так как для сборки и разборки не требуют больших усилий и обеспечивают высокую точность центрирования;

*посадки с более вероятными зазорами* ( $\frac{H7}{js6}$ ,  $\frac{J_s7}{h6}$ ) применяют при небольших статических нагрузках, частых разборках и затрудненной сборке, а также для регулирования взаимного положения деталей.

*Посадки с зазором* образуются полями допусков, которые установлены в качествах 4—12 и применяются в неподвижных и подвижных соединениях, для облегчения сборки при невысокой точности центрирования, для регулирования взаимного положения деталей, для обеспечения смазки трущихся поверхностей (подшипники скольжения) и компенсации тепловых деформаций, для сборки деталей с антикоррозийными покрытиями. Посадки с

наименьшим зазором, равным нулю  $\left(\frac{H}{h}\right)$ , обеспечивают высокую точность центрирования и поступательного перемещения деталей в регулируемых соединениях, могут заменять переходные посадки.

Применение посадок разных групп будет показано на примере конкретной конструкции после краткого ознакомления в § 2.2 с еще одной ранее широко применявшейся системой допусков и посадок — системой ОСТ.

Характер сопряжения (группу посадки) легко установить, если в соответствии с обозначением посадки на сборочном чертеже после нахождения в таблицах величин предельных отклонений отверстия и вала изобразить посадку графически. Если поле допуска отверстия располагается над полем допуска вала — это посадка с зазором, если поле допуска отверстия располагается под полем допуска вала — посадка с натягом, если поля допусков отверстия и вала полностью или частично перекрываются, то это переходная посадка.

Можно и без графического изображения посадки определить ее группу, если после нахождения в таблицах величин предельных отклонений отверстия и вала сравнить их.

Пример. Определим характер соединения (группу посадки), если на чертеже есть запись  $36 \frac{H7}{p6}$ .

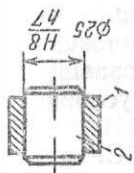
По табл. 4 определяем отклонения отверстия  $36H7$ , а по табл. 3 — отклонения вала  $36p6$ . В итоге устанавливаем, что размеру  $36 \frac{H7}{p6}$  соответствует запись  $36 \frac{+0,025}{+0,026}$ , следовательно, любое годное отверстие меньше любого годного вала, т. е. это посадка с натягом.

Проанализируем решение упражнения 11, чтобы закрепить умение оперировать комплексом взаимосвязанных понятий, определяющих посадку.

### Контрольные вопросы

1. Что такое система допусков и посадок?
2. Почему в стандартах на допуски и посадки используется понятие «интервал размера»?
3. Как называются ряды точности в ЕСДП СЭВ?
4. Как связаны качества со способом обработки поверхностей?
5. Как обозначаются на чертежах поля допуска основного отверстия и основного вала? Как расположены поля допусков этих деталей?
6. Как обозначаются на чертежах поля допусков отверстий и валов? Чем отличаются обозначения полей допусков отверстий от обозначения полей допусков валов?

Основные понятия, выявляемые при чтении размеров



Система посадки

Система отверстия (вала)

Номинальный размер сопряжения, мм

25,0

Обозначение сопрягаемого размера на чертеже детали

Дет. 1  
25H8

Квалитет

h7

Условное обозначение поля допуска

h7

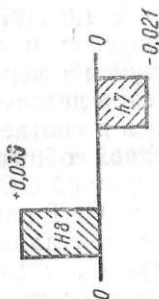
Верхнее предельное отклонение, мм

0

Нижнее предельное отклонение, мм

-0,021

Графическое изображение посадки



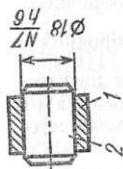
Группа посадки

С зазором

Величина зазоров и натягов, мм

Наибольший зазор 0,054

Наименьший зазор равен нулю



Система вала

18,0

Дет. 1  
18N7

7

N7

+0,005

-0,023

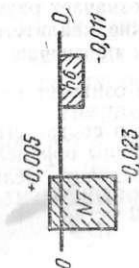
Дет. 2  
18h6

6

h6

0

-0,011



Переходная

Наибольший зазор 0,016

Наибольший натяг 0,023

7. Как наносятся предельные отклонения размеров на чертежах деталей?

8. Что означает размер  $30H7$  на чертеже детали?

9. Что означает размер  $50f8$  на чертеже детали?

10. Какие качества предназначены для образования посадок?

11. Как обозначаются посадки на чертежах сборочных единиц?

12. Что означает размер  $40 \frac{H8}{e8}$  на чертеже сборочной единицы?

13. Как в соответствии с обозначением посадки на чертеже сборочной единицы определить, к какой группе эта посадка относится?

14. Определить величины наибольшего и наименьшего зазоров в посадке  $30 \frac{H9}{d9}$ .

## § 2.2. Основные сведения о системе допусков и посадок ОСТ

Единая система допусков и посадок СЭВ постановлением Госстандарта СССР введена в действие для применения в народном хозяйстве нашей страны относительно недавно — с 1.01.1977 г. До этого назначение конструктором допусков и посадок, простановка необходимых обозначений на чертежах, регламентирующих точности изготовления деталей и осуществления сопряжений, производились в соответствии с ранее действовавшей большей группой общесоюзных стандартов, условно называемой *системой ОСТ*.

Система ОСТ начала создаваться в СССР в 20-х годах и в течение длительного времени, в том числе и в период разработки ЕСДП СЭВ, постоянно дополнялась. Последнее обстоятельство объясняет, почему основные определения, принятые в указанных системах, почти полностью совпадают.

Необходимо твердо запомнить следующее. Действие системы допусков и посадок ОСТ в настоящее время, т. е. после введения ЕСДП СЭВ, ограничено, ее разрешено продолжать использовать только в конструкторской и технологической документации на изделия, спроектированные до 1977 г.; для вновь разрабатываемых изделий применение системы ОСТ запрещено.

Очевидно, что в течение определенного времени — до окончательного снятия старой продукции с производства и полного обновления парка станков, прессов и другого оборудования предприятий — квалифицированному рабочему может встретиться конструкторская и технологическая документация, технические книги и справочники, в которых указания о точности деталей и посадках даны

не в соответствии с ЕСПД СЭВ, а по системе ОСТ. Это и определяет необходимость краткого ознакомления с системой ОСТ.

Приводя основные сведения о системе допусков и посадок ОСТ, мы одновременно будем указывать на совпадения или, наоборот, отличия аналогичных понятий в системе ЕСПД СЭВ. При этом следует твердо запомнить, что все изложенное в гл. 1 *полностью справедливо* независимо от того, по какой системе — ЕСПД СЭВ или ОСТ — составлена конструкторская или технологическая документация.

*Интервалы размеров* в стандартах системы ОСТ совпадают с интервалами, принятыми в ЕСПД СЭВ.

*Единицы допуска* в системе ОСТ, так же как и в ЕСПД СЭВ, определены эмпирически, т. е. опытным путем.

*Ряды точности* в системе ОСТ называются *классами точности* (а в ЕСПД СЭВ — *каллитетами*). Для размеров от 1 до 500 мм в системе ОСТ наиболее употребительны одиннадцать классов точности: 1, 2, 2а, 3, 3а, 4, 5, 7, 8, 9, 10. С возрастанием номера класса допуск увеличивается, т. е. точность убывает. Для посадок предусмотрены классы с 1-го по 5-й.

Примерное соответствие классов точности ОСТ и квалитетов ЕСПД СЭВ приведено ниже.

Классы точности . . . . .	1		2		2а		3
Квалитеты . . . . .	вал 5	вал 6	вал 6	отв 7	вал 7	отв 8	8—9

*Продолжение*

Классы точности . . . . .	3а	4	5	7	8	9	10
Квалитеты . . . . .	10	11	12—13	14	15	16	17

*Условные обозначения полей допусков* в системе ОСТ существенно отличаются от соответствующих обозначений в ЕСПД СЭВ.

В системе ОСТ поля допусков обозначаются буквами русского алфавита: основных отверстий — буквой *А*, а основных валов — *В*, с добавлением индекса, отражающего класс точности (во втором классе индекс не указывается). Например: *А<sub>1</sub>*, *А*, *А<sub>3</sub>*, *А<sub>4</sub>* и т. д.; *В<sub>1</sub>*, *В*, *В<sub>3</sub>*, *В<sub>4</sub>* и т. д.

Поля допусков деталей, сопрягаемых с основными, обозначаются буквами русского алфавита, соответствующими основным.

ющими условным обозначениям посадок, для образования которых они используются, с добавлением индекса класса точности (во втором классе индекс не ставится). Используются такие обозначения: *Пр, Гр, Пл, Г, Т, Н, П, С, Д, Х, Л, Ш, ТХ*.

Нижнее отклонение поля допуска основного отверстия *A* равно нулю, верхнее отклонение поля допуска основного вала *B* равно нулю. Это аналогично полям допусков основного отверстия *H* и основного вала *h* в ЕСДП СЭВ.

Построение таблиц в стандартах системы ОСТ для определения величин предельных отклонений по заданным условным обозначениям полей допусков аналогично построению таких таблиц в ЕСДП СЭВ, т. е. строки таблиц — интервалы номинальных размеров, мм, колонки — буквенные обозначения полей допусков с указанием номера класса точности, в виде индекса. Искомые величины предельных отклонений, мкм, вала или отверстия находятся на пересечении строки, интервал номинальных размеров которой соответствует заданному на чертеже номинальному размеру, с колонкой, в которой обозначено заданное поле допуска.

Нанесение предельных размеров на чертежах деталей по системе ОСТ может, как в ЕСДП СЭВ, осуществляться одним из трех способов:

числовыми значениями предельных отклонений, например  $10^{+0,019}$ ,  $12_{-0,055}^{-0,030}$ ;

условными обозначениями полей допусков, например *18A*, *12L*;

условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений, например  $18A^{(+0,019)}$ ,  $12L\left(\begin{smallmatrix} -0,30 \\ -0,55 \end{smallmatrix}\right)$ .

Во всех трех случаях вначале записывается номинальный размер.

Необходимо обратить внимание на следующее отличие системы ОСТ от ЕСДП СЭВ. В ЕСДП СЭВ, как мы уже знаем, буквы латинского алфавита в условных обозначениях полей допусков отверстий и валов имеют разное написание: для отверстий — прописные, т. е. большие буквы; для валов — строчные, т. е. малые буквы. В системе ОСТ различается обозначение полей допусков буквами русского алфавита только основных деталей системы: для основного отверстия — *A*, для основного вала — *B*. Поля допусков деталей, сопрягаемых с основными

ни, обозначаются совершенно одинаково (*Пр*, *Гр*, *Пл*, и т. д.). Такое одинаковое обозначение поля допуска как в системе отверстия, так и в системе вала не позволяет без чертежа установить, к какому элементу детали (отверстия или валу) оно относится. Возможность двойного толкования буквенных обозначений при неверном определении элемента детали на чертеже может привести к ошибкам при определении числовых значений предельных отклонений по таблицам. Поэтому до пользования таблицами необходимо внимательно прочесть чертеж и соотнести размер с той поверхностью, обработка которой им определяется.

Посадки в системе ОСТ, так же как и в ЕСДП СЭВ, могут осуществляться в системе отверстия и системе вала, т. е. требуемые зазоры или натяги получают либо за счет изменения полей допусков сопрягаемых валов при неизменном поле допуска основного отверстия, либо, наоборот, за счет изменения полей допусков сопрягаемых отверстий при неизменном поле допуска основного вала.

Обозначение посадок на сборочных чертежах в системе ОСТ, так же как и в ЕСДП СЭВ, состоит из указания номинального размера соединения, после которого как бы в виде простой дроби указываются поля допусков сопрягаемых деталей, причем над чертой (в числителе) — обозначение поля допуска отверстия, а под чертой (в знаменателе) — обозначение поля допуска вала.

Как правило, отверстие и вал в заданной посадке выполняются в одном классе точности.

Пример. Обозначение посадки в системе отверстия:  $\varnothing 70 \frac{A}{Г}$  (*A* — поле допуска основного отверстия). Обозначение посадки в системе вала:  $\varnothing 50 \frac{X_3}{B_3}$  (*B<sub>3</sub>* — поле допуска основного вала).

Все посадки в системе ОСТ, как и в ЕСДП СЭВ, подразделяются на три группы: с зазором, с натягом, переходные. Посадкам присвоены условные названия, соответствующие обозначениям полей допусков деталей, сопрягаемых с основным отверстием или валом. Эти названия приблизительно отражают характер соединения, который получается при сборке (в ЕСДП СЭВ, как мы помним, посадки названий не имеют).

Посадки с зазором (в порядке возрастания зазора): скользящая (*C*), движения (*D*), ходовая (*X*), легкохо-

довая (Л), широкоходовая (Ш), широкоходовая 1-я (Ш1), широкоходовая 2-я (Ш2), теплоходовая (ТХ).

Посадки переходные (в порядке возрастания вероятности получения зазора, или, что то же самое, — убывания вероятности получения натяга): глухая (Г), тугая (Т), напряжения (Н), плотная (П).

Посадки с натягом (в порядке возрастания натяга) легкопрессовая (Пл), прессовая (Пр), горячая (Гр). Кроме того, имеются прессовая 1-я (Пр1), прессовая 2-я (Пр2), прессовая 3-я (Пр3).

В системе ОСТ, как и в ЕСДП СЭВ, проведена унификация посадок по классам точности и группам размеров, т. е. из множества теоретически возможных полей допусков отверстий и валов рекомендовано к применению определенное количество технически обоснованных посадок. Наибольшее число посадок предусмотрено в 2-м классе точности, приведем примеры их обозначений

Пример. Посадки с натягом: в системе отверстия  $\frac{A}{G_p}$   
 $\frac{A}{P_p}$ ,  $\frac{A}{P_{пл}}$ ; в системе вала  $\frac{G_p}{B}$ ,  $\frac{P_p}{B}$ .

Посадки с зазором: в системе отверстия  $\frac{A}{C}$ ,  $\frac{A}{X}$ ,  $\frac{A}{L}$ ,  $\frac{A}{Ш}$   
 в системе вала:  $\frac{C}{B}$ ,  $\frac{X}{B}$ ,  $\frac{L}{B}$ ,  $\frac{Ш}{B}$ .

Переходные посадки: в системе отверстия  $\frac{A}{Г}$ ,  $\frac{A}{Т}$ ,  $\frac{A}{Н}$   
 $\frac{A}{П}$ ; в системе вала  $\frac{Г}{B}$ ,  $\frac{Т}{B}$ ,  $\frac{Н}{B}$ ,  $\frac{П}{B}$ .

Характер сопряжения (группу) посадки в системе ОСТ, так же как и в ЕСДП СЭВ, легко установить, если в соответствии с ее обозначением на сборочном чертеже после нахождения в таблицах величин предельных отклонений отверстия и вала изобразить посадку графически. Взаимное расположение полей допусков даст ответ: поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала — посадка с зазором; поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала — посадка с натягом; поля допусков отверстия и вала перекрываются — посадка переходная. Кроме того, в отличие от ЕСДП СЭВ, характер соединения приблизительно отражается на званием посадки.

В связи с тем что в настоящее время действуют две системы допусков и посадок: основная — ЕСДП СЭВ



для изделий, спроектированных до 1977 г., — система ОСТ, то кратко рассмотрим вопросы замены полей допусков и посадок по системе ОСТ на поля допусков и посадки ЕСДП СЭВ. Такая необходимость может возникнуть при переходе на выпуск нового изделия на базе переработки (усовершенствования) прежней конструкции. В этом случае часть конструкторских решений может сохраниться, но конструкторскую и технологическую документацию, естественно, придется оформлять как на вновь разрабатываемое изделие, т. е. по ЕСДП СЭВ.

Замена полей допусков и посадок по системе ОСТ на поля допусков и посадки ЕСДП СЭВ осуществляется исходя из следующего основного положения. Когда предельные отклонения по ЕСДП СЭВ не выходят за соответствующую границу заменяемого поля по системе ОСТ более чем на 10 %, можно считать, что при замене характер посадки практически не изменился и обеспечиваются все исходные требования взаимозаменяемости. Как правило, замены, удовлетворяющие этому условию, не нуждаются в дополнительном анализе или проверке, если исходная посадка или поле допуска по системе ОСТ полностью обеспечивали требования, предъявляемые к изделию.

Наиболее распространенные замены даны в изданных Госстандартом СССР рекомендациях, в них приведены взаимоувязанные таблицы замен полей допусков отверстий и валов и замен посадок. Как правило, показатели сопоставления системы ОСТ и ЕСДП СЭВ для посадок лучше, чем для отдельных полей допусков отверстия и вала. Отдельные примеры рекомендуемых замен приведены ниже:

ОСТ	ЕСДП СЭВ	ОСТ	ЕСДП СЭВ
$\frac{A}{f_7}$	$\frac{H7}{e7}$	$\frac{A}{P}$	$\frac{H7}{j_6^S}$
$\frac{A}{H_7}$	$\frac{H7}{r_6}$	$\frac{A}{C}$	$\frac{H7}{h_6}$
$\frac{A}{G}$	$\frac{H7}{n_6}$	$\frac{A}{D}$	$\frac{H7}{g_6}$
$\frac{A}{F}$	$\frac{H7}{m_6}$	$\frac{A}{X}$	$\frac{H7}{f_7}$
$\frac{A}{H}$	$\frac{H7}{k_6}$	$\frac{A}{L}$	$\frac{H7}{e_8}$

ОСТ	ЕСДП СЭВ	ОСТ	ЕСДП СЭВ
$\frac{A}{H7}$	$\frac{H7}{h8}$	$\frac{A_3}{H8}$	$\frac{H8}{d9}$
$\frac{H7}{h8}$	$\frac{H9}{h8}$	$\frac{H3}{h9}$	$\frac{H12}{h12}$
$\frac{A_3}{H9}$	$\frac{H9}{f8}$	$\frac{A_5}{H12}$	$\frac{H12}{b12}$
$\frac{H3}{h9}$		$\frac{A_5}{H12}$	
$\frac{H3}{h9}$		$\frac{X_5}{H12}$	
$\frac{H3}{h9}$		$\frac{X_5}{H12}$	

### § 2.3. Примеры применения посадок ЕСДП СЭВ и системы ОСТ

Применение различных посадок поясним примерами конкретных и весьма распространенных конструкций — сборочными единицами двигателя внутреннего сгорания.

Сопряжение подшипниковой втулки с головкой шатуна на тракторного двигателя требует неподвижного соеди-

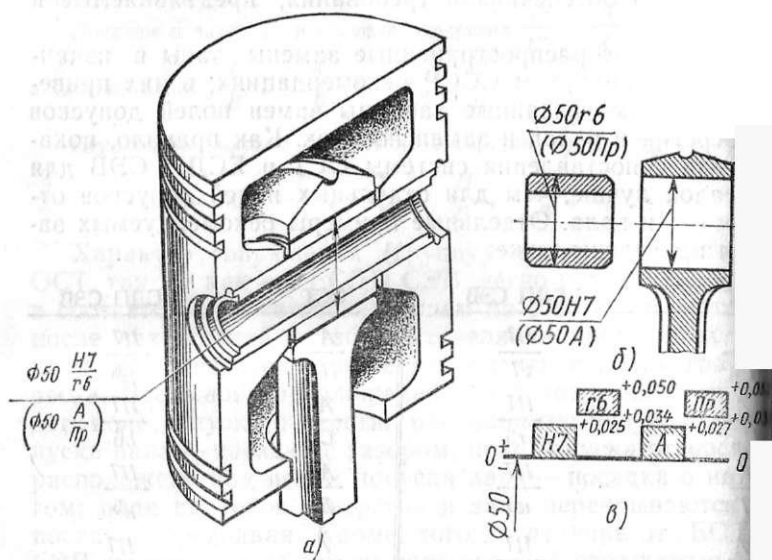


Рис. 2.2. Посадка с натягом:

а — сборочная единица — втулка в головке шатуна тракторного двигателя, б — чертежи деталей сборочной единицы — втулки и головки шатуна, в — графическое изображение посадки

нения деталей, характеризуется резко переменными нагрузками средней тяжести, наличием вибраций. Такие условия работы вызывают необходимость назначения конструктором посадки в системе отверстия с умеренными гарантированными натягами. В ЕСДП СЭВ такой посадкой является посадка  $\frac{H7}{r6}$  (в системе ОСТ ей соответствует прессовая посадка  $\frac{A}{Pr}$ , рис. 2.2).

Сопряжение поршня тракторного двигателя с поршневым пальцем требует весьма высокой точности, характеризуется резко переменными нагрузками, разборке подвергается крайне редко. Для таких условий конструктор назначает переходную посадку с более вероят-

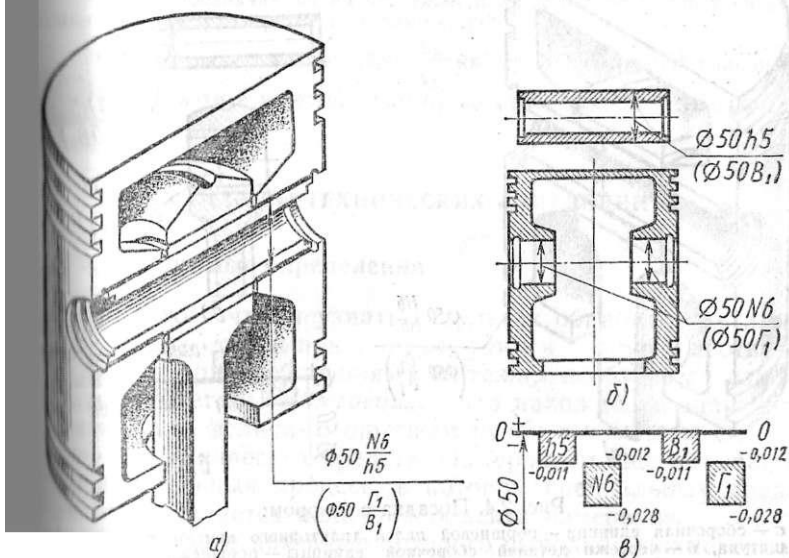


Рис. 2.3. Переходная посадка:

а — сборочная единица — поршень тракторного двигателя с поршневым пальцем, б — чертежи деталей сборочной единицы — поршня и поршневого пальца, в — графическое изображение посадки

ными натягами. В ЕСДП СЭВ такой посадкой является посадка в системе вала  $\frac{N6}{h5}$  (в системе ОСТ ей соответствует глухая посадка  $\frac{\Gamma_1}{B_1}$ , рис. 2.3).

Сопряжение поршневого пальца тракторного двигате-

ля с втулкой шатуна требует подвижного соединения весьма высокой точности, характеризуется резко переменными динамическими нагрузками. Для этих условий работы конструктор назначает посадку с малым гарантированным зазором. В ЕСПД СЭВ такой посадкой является посадка  $\frac{H6}{h5}$ , наименьший зазор в этой посадке равен нулю (в системе ОСТ ей соответствует посадка  $\frac{C1}{B1}$ , рис. 2.4). В двух последних случаях применение системы вала оправдано конструктивными соображениями

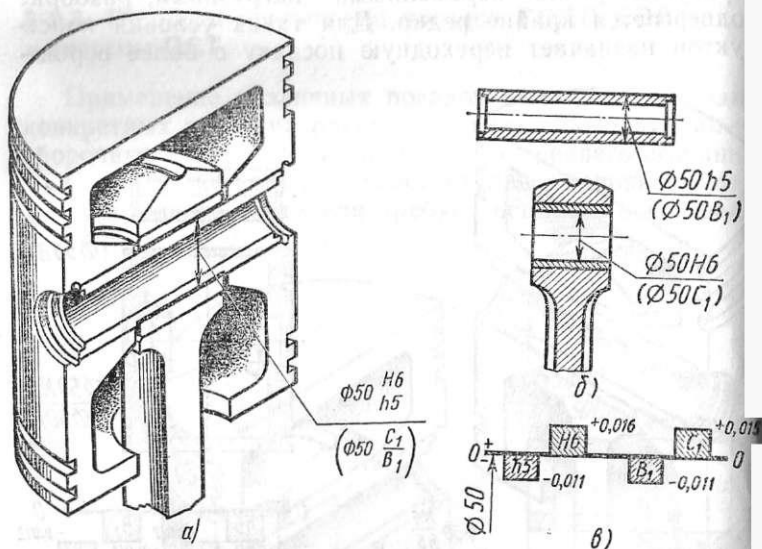


Рис. 2.4. Посадка с зазором:

*а* — сборочная единица — поршневой палец тракторного двигателя с втулкой шатуна, *б* — чертежи деталей сборочной единицы — поршневого пальца и втулки шатуна, *в* — графическое изображение посадки

Одна и та же деталь — поршневой палец — сопрягается в одном случае с поршнем (требуется переходная посадка), в другом с подшипниковой втулкой шатуна (требуется посадка с зазором). При образовании посадок по системе вала (основной вал) представляет собой гладкий цилиндр, весьма технологичный в изготовлении. И наоборот, если назначить посадки в системе отверстия, то форма поршневого пальца усложняется — это будет ступенчатый цилиндр.

Соответствие указанных посадок по ЕСДП СЭВ и системе ОСТ определяется сравнением их графических изображений — заменяемые поля допусков, величины предельных отклонений деталей и величины наибольших и наименьших зазоров и натягов почти идентичны.

### Контрольные вопросы

1. Какими условиями ограничено применение системы допусков и посадок ОСТ в настоящее время?
2. Как называются ряды точности в системе ОСТ?
3. Как связаны классы точности со способами обработки поверхностей?
4. Как обозначается на чертежах поле допуска основного отверстия? основного вала?
5. Как обозначаются на чертежах поля допусков валов в системе отверстия и отверстий в системе вала?
6. Что означает размер  $\varnothing 30 \frac{A_3}{X_3}$  на чертеже сборочной единицы?
7. Назовите в качестве примера по одной посадке с зазором, с натягом, переходной.

## ГЛАВА 3. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### § 3.1. Основные определения

Для того чтобы узнать результат обработки детали, определить, какой при этом получился размер и соответствует ли он требованиям чертежа, необходимо измерить эту деталь. *Измерение* — это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Измерением еще называют познавательный процесс, в котором специальным средством выявляется величина объекта измерения.

Средство, с помощью которого выполняют измерение, так и называют — *средство измерения*, оно имеет нормированные метрологические свойства (см. ниже). Значение величины, которое выявили измерением, называют *результатом измерения*.

При изготовлении деталей машин обычно бывает недостаточно знать величину размера, полученного обработкой. Чаще всего требуется установить годность этого размера, т. е. определить, изготовлен ли он в пределах допуска, заданного на обработку этой детали. Для этого сопоставляют результат измерения с предельными размерами, заданными чертежом. Если результат

измерения находится между ними, то деталь признается годной, а если нет, то деталь объявляется браком. Такой процесс называется *контролем годности*, выполненным измерением (существует еще контроль годности, выполненный без выявления результата измерения, путем физического сопоставления детали с образцом).

Измерения изучаются отдельной наукой — *метрологией*. *Метрология* — это наука об измерениях, методах и средствах их выполнения, обеспечения их единства, а также способах достижения требуемой точности. Метрология охватывает все области выполнения измерений и применима везде, где их осуществляют. Однако в нашем предмете изучаются только измерения линейных и угловых размеров изделий. Эта часть метрологии называется *техническими измерениями*.

### § 3.2. Средства измерения

*Средства измерения* — это устройства, способные в процессе измерения выявить числовое значение величины измеряемого размера. Средства измерения издавна принято разделять на три основных вида: меры, измерительные инструменты и измерительные приборы.

**Меры.** Меры — это средства измерения, вещественно воспроизводящие физическую величину заданного размера. Меры разделяются на однозначные и многозначные. Однозначная мера воспроизводит величину одного размера. Например, плоскопараллельная мера длины 10 мм (см. рис. 4.1) воспроизводит один линейный размер между ее плоскостями, равный 10 мм; угловая мера — угловая плитка  $15^\circ$  (см. рис. 64) воспроизводит один угловой размер между плоскостями, равный  $15^\circ$ .

Многозначная мера воспроизводит ряд одноименных величин различного размера. Например, линейка образцовая воспроизводит своими делениями много линейных размеров на своей шкале. Угловой лимб воспроизводит много угловых размеров на своей шкале.

**Измерительные инструменты и измерительные приборы** — это средства измерения, способные выработать показания — числовую измерительную информацию — в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Эти показания вырабатываются в принятых единицах измерения. Такими единицами являются: для измерения линейных размеров — метр (м), миллиметр (мм), микрометр (мкм); для измерения угловых размеров — градус ( $^\circ$ ), минута ( $'$ ), секунда ( $''$ ).

## Первичные средства измерения

**Линейка измерительная металлическая.** Линейка измерительная представляет собой гибкую стальную полосу с нанесенной на ней прямой шкалой с ценой деления 1 мм. Линейки изготавливают со шкалами от 0 до 150 мм, от 0 до 300 мм, от 0 до 500 мм и от 0 до 1000 мм. Началом шкалы линейки является плоскость торца полосы; торец расположен перпендикулярно продольному ребру полосы. С торцом совпадает середина нулевого штриха шкалы. Конец штрихов шкалы выходит на продольное ребро. Каждый 5-й и 10-й штрих шкалы удлинен, каждый 10-й снабжен цифрой, показывающей расстояние в мм от этого штриха до начала шкалы. Второй конец полосы закруглен и снабжен отверстием для подвешивания линейки.

**Штангенциркуль ШЦ-1** (рис. 3.1). Штангенциркулем называется средство для измерения линейных размеров, основанное на штанге 5, на которой нанесена шкала с ценой деления 1 мм. По штанге 5 передвигается рамка 7 со вспомогательной шкалой-ноннусом 7. Штангенциркуль снабжен губками для наружных измерений 8 и для внутренних измерений 1, а также зажимом 2. К рамке 3 прикреплена линейка глубиномера 6 и плоская пружина 4.

Нониус 7 (рис. 3.2) служит вспомогательной шкалой, позволяющей отсчитывать доли деления шкалы штанги. Он наносится на скошенной поверхности рамки или отдельной пластинки, укрепленной в окне рамки.

Порядок отсчета показаний штангенциркуля по шкалам штанги и нониуса:

читают число целых миллиметров — для этого находят на шкале штанги штрих, ближайший меньший к нулевому штриху нониуса, и запоминают его числовое значение (на рис. 3.2 — 25 мм);

читают долю миллиметра в отсчете — для этого находят на шкале нониуса штрих, совпадающий со штрихом шкалы штанги, запоминают его порядковый номер и умножают этот номер на величину отсчета по данному нониусу. Это будет искомая доля миллиметра в отсчете (на рис. 3.2 совпадающий штрих нониуса имеет номер 3, а величина отсчета по нониусу равна 0,1 мм, значит, доля миллиметра в отсчете здесь равна  $3 \times 0,1 \text{ мм} = 0,3 \text{ мм}$ ).

подсчитывают полную величину показания штанген-

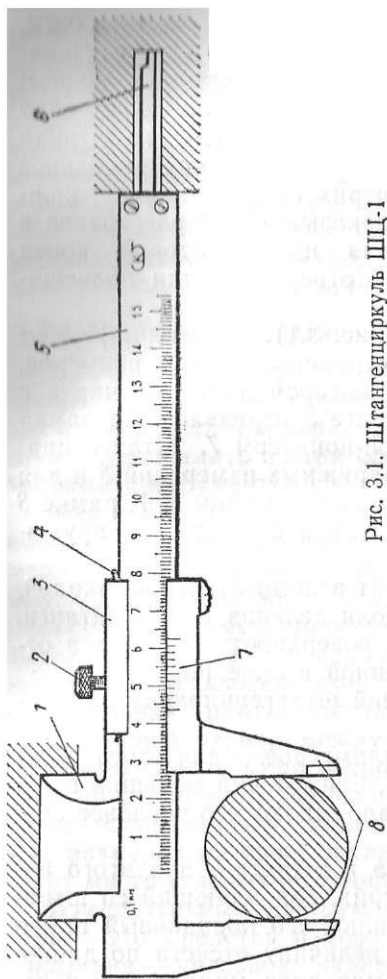


Рис. 3.1. Штангенциркуль ШЦ-1





циркуля — для этого складывают число целых миллиметров с долей миллиметра в отсчете (на рис. 3.2 полная величина показания равна  $25+0,3=25,3$  мм).

Микрометр гладкий (рис. 3.3 а). Основанием микрометра является скоба 1, а передаточным (преобразовательным) устройством служит винтовая пара, состоящая из микрометрического винта 3 и микрометрической гайки, укрепленной внутри стебля 5, которые часто называют микропарой. В скобу 1 запрессованы пятка 2 и стержень 5. Измеряемая деталь охватывается измерительными поверхностями микровинта 3 и пятки 2. Барабан 6 присоединен к микровинту 3 корпусом трещотки 7. Для приближения микровинта 3 к пятке 2 его вращают за барабан или за трещотку 8 по часовой стрелке (от себя), а для удаления микровинта от пятки его вращают против часовой стрелки (на себя). Закрепляют микровинт в требуемом положении стопором 4.

При плотном соприкосновении измерительных поверхностей микрометра с поверхностью измеряемой детали трещотка проворачивается с легким треском, при этом ограничивается измерительное усилие микрометра. Результат измерения размера микрометром отсчитывается как сумма отсчетов по шкале стебля 5 и барабана 6. Следует помнить, что цена деления шкалы стебля 0,5 мм, а шкалы барабана 0,01 мм. Шаг резьбы микропары (микровинт и микрогайка)  $P=0,5$  мм.

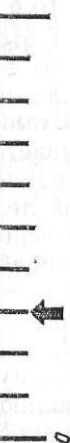
Число делений барабана 50. Если повернуть барабан на одно деление его шкалы, то торец микровинта переместится относительно пятки на 0,01 мм, так как  $0,5 \text{ мм} : 50 = 0,01 \text{ мм}$ .

В целях повышения удобства и ускорения отсчета показания микрометра выпускается гладкий микрометр с цифровой индикацией 9 (рис. 3.3, в). Показания по шкалам гладкого микрометра отсчитывают в следующем порядке: сначала по шкале стебля 5 читают значение штриха, ближайшего к торцу скопа барабана 6 (на рис. 3.3, б — это число 12,00 мм). Затем по шкале барабана читают значение штриха, ближайшего к продольному штриху стебля (на рис. 3.3, б — это число 0,45 мм). Сложив оба значения, получают показание микрометра (на рис. 3.3, б — это значение 12,45 мм).

Диапазоны измерения гладкого микрометра: 0...25 мм; 25...50 мм и т. д. до 275...300 мм, дальше 300...400; 400...500 и 500...600 мм.

Для установки на ноль все микрометры, кроме

Рис. 3.2. Отсчет по нониусу 25,3 мм



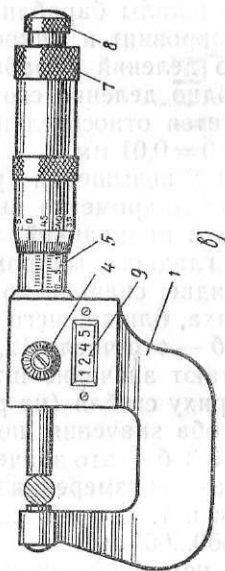
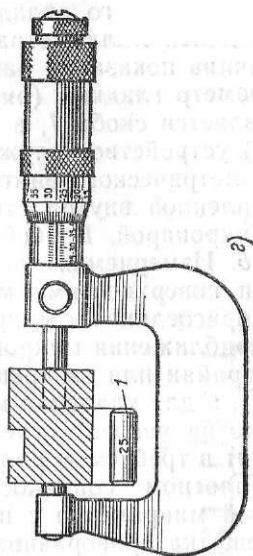
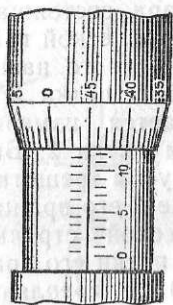
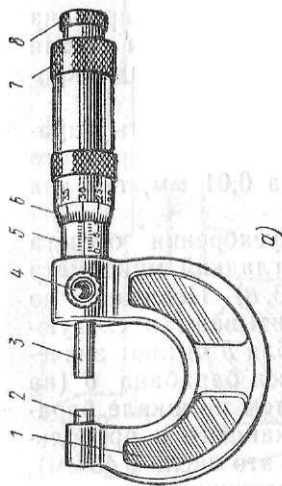


Рис. 3.3. Микрометр гладкий:

а — диапазон измерения от 0 до 25 мм, б — отсчет 12,45 мм, в — микрометр с цифровой индикацией, г — микрометр от 25 до 50 мм с установочной мерой

0...25 мм, снабжаются установочными мерами 1 (рис. 3.3, з), размер которых равен нижнему пределу измерения. Цена деления микрометра — 0,01 мм.

Применение: измерение наружных линейных размеров.

Индикаторы часового типа (рис. 3.4). Внешне (да и по внутреннему устройству) индикатор похож на карманные часы, почему и закрепилось за ним такое название.

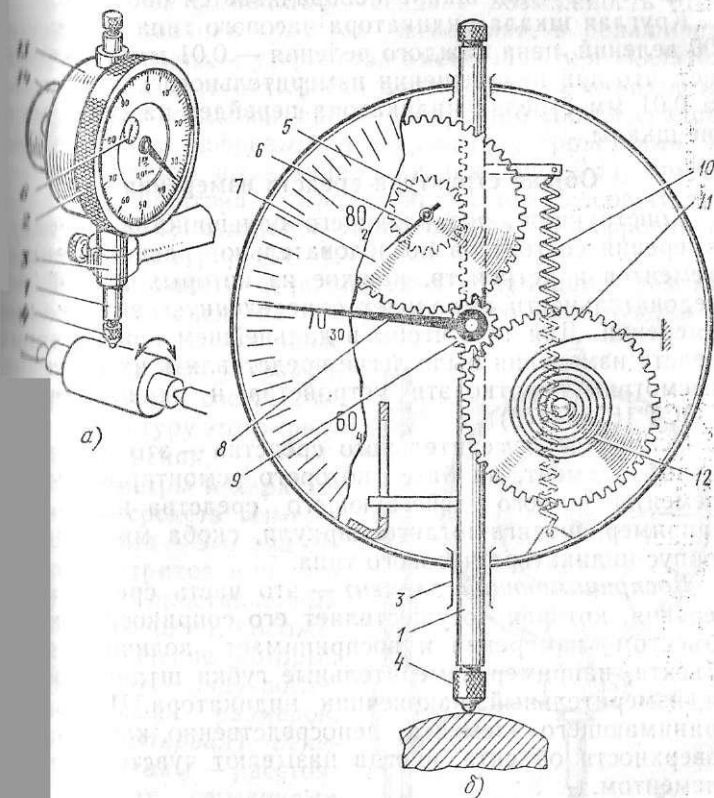


Рис. 3.4. Индикатор часового типа:  
а — общий вид, б — схема зубчатой передачи

ние (но неправильно называть его индикаторные часы — время им не измеряют).

Конструкция индикатора часового типа представляет собой измерительную головку с продольным перемещением наконечника. Основанием индикатора является

корпус 13, внутри которого смонтирован преобразующий механизм — реечно-зубчатая передача. Через корпус 13 проходит измерительный стержень 1 с наконечником 4. На стержне нарезана рейка. Движения измерительного стержня-рейки 1 передаются зубчатыми колесами — реечным 5, передаточным 7 и трибкой основной стрелке 8, величина поворота которой отсчитывается по круглой шкале — циферблату. Для установки на «0» круглая шкала поворачивается ободком 2.

Круглая шкала индикатора часового типа состоит из 100 делений, цена каждого деления — 0,01 мм. Это означает, что при перемещении измерительного наконечника на 0,01 мм стрелка индикатора перейдет на одно деление шкалы.

### Общая структура средств измерения

Конструкция подавляющего большинства средств измерения состоит из последовательно расположенных элементов и устройств, каждое из которых в этой последовательности выполняет определенную задачу при измерении. Для того чтобы в дальнейшем при изучении средств измерения было легче представлять их действия, рассмотрим коротко эти устройства и их назначения (ГОСТ 16263—70).

*Основание* измерительного средства — это конструктивный элемент, на базе которого смонтированы все элементы данного действующего средства измерения. Например, штанга штангенциркуля, скоба микрометра, корпус индикатора часового типа.

*Воспринимающий элемент* — это часть средства измерения, которая осуществляет его соприкосновение с объектом измерения и воспринимает величину этого объекта, например измерительные губки штангенциркуля, измерительный наконечник индикатора. Часть воспринимающего элемента, непосредственно касающаяся поверхности объекта, иногда называют чувствительным элементом.

*Размерный элемент* — это одна из деталей средств измерения, которая обладает собственным точным, обычно многозначным, размером, с величиной которого в процессе измерения непосредственно сопоставляется воспринятая средством измерения величина объекта измерения (например, штанга со шкалой штангенциркуля: размер детали, воспринятый губками, сравнивается с ней).

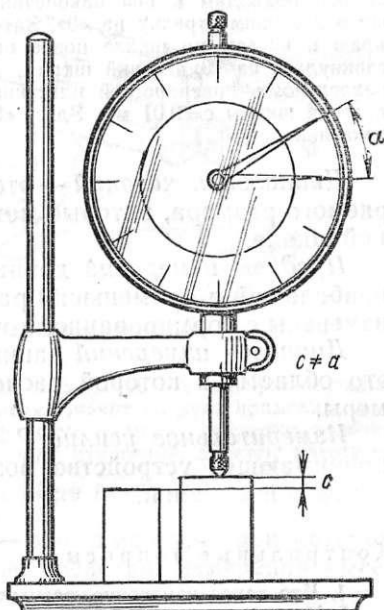
**Преобразующее устройство** — это внутренний механизм или элемент средства измерения, который преобразует (видоизменяет) малые перемещения, воспринятые от объекта измерения, в большие перемещения на отсчетном устройстве так, что эти большие перемещения исполнитель может непосредственно наблюдать и отсчитывать (например, зубчатая передача в индикаторе часового типа, см. рис. 3.4).

**Отсчетное устройство** — создает возможность отсчитывать показания средства измерения, в большинстве случаев отсчетные устройства имеют шкалу и указатель, которым служит отдельный штрих, группа штрихов или стрелка. В последнее время распространяются средства измерения с цифровыми отсчетными устройствами, например нониус штангенциркуля (см. рис. 3.1), круглая шкала индикатора и стрелка индикатора часового типа (см. рис. 3.4), цифровое табло прибора с цифровой индикацией (см. рис. 3.3, в).

В зависимости от назначения и принципа действия конкретного средства измерения в его конструкции используются те или иные комплексы этих устройств и элементов, составляющих структуру этого средства измерения.

**Параметры и характеристики средств измерения.** **Шкала** — это ряд отметок (штрихов или точек) и проставленных около них чисел, положение и значение которых соответствует ряду последовательных размеров. **Длина (интервал) деления  $a$  шкалы** — расстояние между серединами (осями) двух соседних отметок шкалы, наиболее распространены интервалы 0,5 и 1 мм.

**Цена деления шкалы** (рис. 3.5) — это разность значений величины, соответствующих двум со-



$a$  — интервал деления шкалы

$c$  — цена деления шкалы

Рис. 3.5. Цена деления шкалы

седним отметкам шкалы. Иначе говоря, величина перемещения воспринимающего устройства средства измерения, вызывающая перемещение указателя на одно деление шкалы. Наиболее приняты цены делений 0,1; 0,2; 0,5 мкм; 1; 2; 5 мкм; 0,01; 1 мм.

Пример. Если наконечник индикатора часового типа переместить на 0,01 мм, то стрелка сдвинется на одно деление круговой шкалы, значит цена деления составляет 0,01 мм.

*Отсчет* — это число, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерения.

*Показание* средства измерения — это значение величины, определенное по отсчетному устройству после измерения заданного объекта. Показание всегда состоит из произведения числа делений шкалы и отсчета и цены деления данной шкалы.

Пример 1. Требуется измерить диаметр вала штангенциркулем. Для этого охватываем губками для наружных измерений измеряемый вал и читаем по шкале и нониусу показание 25,3 мм.

2. Требуется измерить отклонение от параллельности поверхностей пластины индикатором. Для этого укладываем пластину на стол, подводим к ней наконечник, сдвигаем пластину к одному краю и ставим стрелку на «0». Затем сдвигаем пластину к другому краю и читаем по шкале новое положение стрелки. Если стрелка сдвинулась на 10 делений шкалы, то показание индикатора — непараллельность поверхностей пластины — равно 0,1 мм, так как цена деления шкалы  $c=0,01$  мм. Здесь «0» и «10» — отсчеты, а 0,10 мм — показание.

*Диапазон показаний* — это область значений измеряемого размера, которые могут быть отсчитаны по данной шкале.

*Пределы измерений* данным средством измерения — наибольший и наименьший размеры, которые могут быть измерены с нормированной точностью.

*Диапазон измерений* данным средством измерения — это область, в которой расположены измеряемые размеры.

*Измерительное усилие  $P$*  — это сила, с которой воспринимающее устройство воздействует на поверхности объекта измерения.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое измерение, результат измерения и контроль?
2. Что такое метрология?
3. Что такое средство измерения?
4. Опишите по рисунку или образцу линейку измерительную, штангенциркуль, микрометр гладкий, индикатор часового типа.

в. Что такое шкала, длина деления (интервал), цена деления, отсчет?

б. Что такое диапазон показаний, пределы измерения, диапазон измерений?

### 3.3. Виды и методы измерения

**Виды измерения.** *Прямое измерение* — это измерение, при котором значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству, например измерение высоты  $h$  линейкой глубиномера штангенциркуля ШЦ-1 (см. рис. 3.1).

*Косвенное измерение* — это измерение, при котором искомое значение величины определяют пересчетом результатов прямых измерений величин, связанных с искомой величиной известной нам зависимостью.

**Пример.** Требуется измерить расстояние  $L_0$  между осями двух отверстий (рис. 3.6) с помощью штангенциркуля.

Прямым измерением с помощью штангенциркуля определить величину  $L_0$  практически невозможно, так как оси отверстий распо-

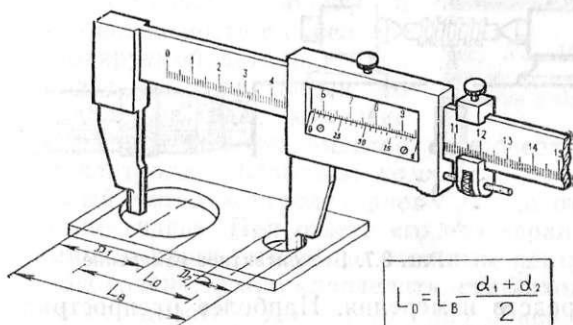


Рис. 3.6. Косвенное измерение

жены в воздушном пространстве и ощутить их воспринимающим устройством штангенциркуля нельзя. Значит следует применить косвенное измерение. Сначала выполняем прямые измерения величин  $L_B$ ,  $D_1$  и  $D_2$  губками для внутренних измерений, а затем подсчитываем искомую величину по зависимости  $L_0 = L_B - \frac{(D_1 + D_2)}{2}$ .

*Контактное измерение* — это измерение, при котором воспринимающее средство измерения имеет механический контакт с поверхностью измеряемой детали, например измерения с помощью штангенциркулей, индикатора часового типа и т. д.

*Бесконтактное измерение* — это измерение, при ко-

тором воспринимающее устройство не имеет механического контакта с поверхностью измеряемой детали, например измерение элементов резьбы на микроскопе (рис. 3.7).

**Методы измерения.** Методом измерения принято называть совокупность приемов и принципов использова-

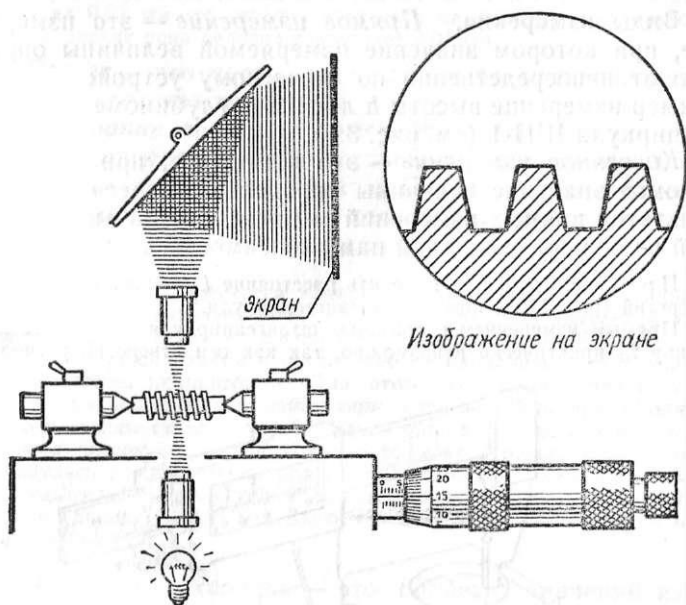


Рис. 3.7. Бесконтактное измерение

ния средств измерения. Наиболее распространены следующие методы.

**Метод непосредственной оценки** — при этом методе величина измеряемой детали определяется непосредственно по размерному устройству, имеющемуся в конструкции применяемого средства измерения, например измерение диаметра вала с помощью штангенциркуля (см. рис. 3.1). Здесь величина диаметра, воспринятая губками, непосредственно сопоставляется со шкалой штанги, обладающей точным размером и включенной в конструкцию данного средства измерения.

**Метод сравнения с мерой** — это метод, при котором величина измеряемой детали сопоставляется с величиной воспроизводимой мерой или величиной образцовой детали, которые не входят в конструкцию применяемого



средства измерения. Например, измерение вала диаметром 30 мм с помощью индикатора часового типа методом сравнения с концевой мерой 30 мм на стойке со столиком (рис. 3.8).

В современном машиностроении часто применяют соединения деталей, у которых сопрягаемые поверхности имеют сложный профиль. Например, детали с резьбой, детали со шлицевой поверхностью и т. п.

Очевидно, что для определения годности таких деталей необходимо контролировать всю ее поверхность сразу, в комплексе размеров и расположения всех ее элементов.

Для этого изготавливают образец (иногда его называют калибром), имеющий форму поверхности детали, сопрягаемой с контролируемой деталью (для контроля втулки делают образец, имеющий форму вала, и наоборот), и соединяют его поверхность с поверхностью контролируемой детали. Если деталь и образец не сопрягаются, то деталь не годна, не годен комплекс размеров и расположения элементов ее поверхности. Такой метод контроля и называют *комплексным*.

Комплексный метод контроля дает только ответы «годен» или «не годен». При ответе «годен» гарантируется собираемость пары деталей со сложным контуром. При ответе «не годен» нужно определить, где находится причина этой негодности. Для этого надо обнаружить тот размер или то неправильное расположение элемента поверхности, которое мешает собираемости контролируемой детали с образцом (а значит, в дальнейшем и с соединяемой деталью на сборке). Для этой цели применяют метод, выявляющий числовые величины искомым отклонений, причем каждый элемент должен измеряться раздельно, т. е. дифференцированно. Этот метод так и называют *раздельным* или *дифференцированным*.

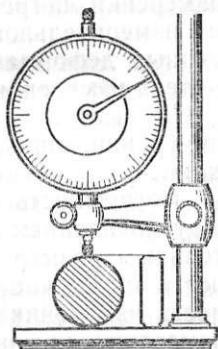


Рис. 3.8. Измерение методом сравнения с мерой

### 3.4. Погрешности измерения

*Погрешность измерения* — это отклонение результата измерения от действительного размера измеряемой величины. В числовых величинах погрешность измере-

ния  $\Delta$  подсчитывают как разность между результатом измерения  $L_{\text{п}}$  и действительным размером  $L_{\text{д}}$  измеряемой величины:  $\Delta = L_{\text{п}} - L_{\text{д}}$ .

*Составляющие погрешности измерения. Поверка. Государственная система обеспечения единства измерений.* Наиболее существенно влияют на величину погрешности измерения пять составляющих: погрешность средства измерения, погрешность установочных мер, погрешности от измерительного усилия, погрешность из-за температурных деформаций, субъективные погрешности исполнителя измерения.

Рассмотрим подробнее составляющие погрешности измерения, определим, как, почему и откуда они возникают.

**Погрешность средства измерения** — это разность между показанием данного средства измерения и действительным размером измеренной величины. Эта погрешность вносит чаще всего самую большую часть в погрешность измерения. Именно поэтому за всеми средствами измерения, как после их изготовления или ремонта, так и за находящимися в эксплуатации, осуществляется надзор, во время которого периодически определяется в каком состоянии находится каждое средство измерения.

Такой контроль принято называть *поверкой* средства измерения. При проведении поверки определяется работоспособность данного средства измерения, в том числе и величина его погрешности, а именно, находится ли она в пределах установленной нормы. Выполняют поверку специальные органы метрологической службы — измерительные лаборатории и их поверочные пункты (работники этих органов, лично проводящие поверку, называются поверителями). Если в результате поверки данное средство измерения оказывается годным, т. е. оно работает исправно и его погрешность находится в пределах нормы, то на него выписывается документ о положительных результатах поверки (аттестат), если же нет то оно изымается из применения. Аттестат годного средства измерения хранится в его футляре и свидетельствует о годности его до даты следующей поверки по графику. Если срок прошел и очередную поверку не произвели, то при надзоре данное измерение объявляется незаконным, а его аттестат недействительным.

Все эти мероприятия проводятся для обеспечения единства измерений. *Единство измерений* — это такое со

стоящие всех измерений, при котором их результаты выражаются в узаконенных единицах и имеют нормируемую точность. Для обеспечения единства измерений в нашей стране создана Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ), состоящая из большой группы ГОСТов. Комплекс этих стандартов по ГСИ имеет номера, начинающиеся с цифры 8. Например, ГОСТ В.051—81 «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм».

**Погрешности, привносимые установочными мерами или образцами.** Все эти меры имеют свои собственные погрешности и эти погрешности с их знаками входят в погрешность каждого измерения.

**Погрешность измерения от измерительного усилия.** Измерительное усилие создает в средстве измерения и измеряемой детали деформации, которые, в свою очередь, приводят к погрешностям измерения.

**Погрешности от температурных деформаций.** В настоящее время установлено, что измерение линейных размеров должно производиться при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ . Такую температуру называют *нормальной*. Практически точно выдержать эту температуру трудно. В реальных условиях во время измерений деталь, средство измерения и окружающая их среда могут иметь разные температуры, которые могут непрерывно меняться. Эти колебания и отклонения температуры от  $20^{\circ}\text{C}$  приводят к температурным деформациям — изменениям размеров и формы как измеряемой детали, так и самого средства измерения. Такие деформации создают погрешности измерения, входящие в общую погрешность измерения.

**Субъективные погрешности исполнителя измерения.** Человек, применяющий средство измерения (субъект), вносит в этот процесс погрешности, возникающие при его деятельности. Этими погрешностями являются погрешности действия, т. е. ошибки, возникающие при выполнении исполнителем приемов измерения, и погрешности отсчитывания показания. Различают следующие виды таких ошибок исполнителя:

исполнитель неправильно определяет место указателя (стрелки, отсчетного штриха) относительно штриха отсчетной шкалы из-за смещения своего глаза с точки отсчета. Такое смещение называют *параллаксом*. *Параллакс* — это кажущееся смещение указателя относительно штриха шкалы, вызванное сдвигом глаза наблю-

дателя с перпендикуляра, опущенного через указатель на плоскость шкалы (рис. 3.9);

неправильно определяет знак отклонения измеряемого размера от «0», поставленного по установочной мере;

неправильно оценивает по положению указателя долю цены деления шкалы;

неправильно подсчитывает числовую величину показания; ошибается в количестве делений отклонения по шкале от «0», ошибается в цене делений на разных участках шкалы и т. д.

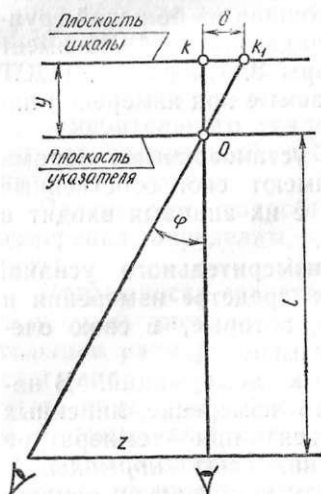


Рис. 3.9. Схема параллакса

**Полная (суммарная) погрешность измерения.** В предыдущем разделе рассматривались основные составляющие, из которых складывается полная (суммарная) величина погрешности, возникающей в процессе измерения. Для средств измерения, выпускаемых промышленностью и применяемых в машиностроении для измерения

линейных размеров, исследованиями выявлены предельные величины полных, суммарных погрешностей измерения  $\Delta_{\Sigma}$ . Эти погрешности опубликованы в руководящих директивно-методических указаниях Госстандарта СССР под названием РДМУ 98—77. Часть из них приведена в данном учебнике (табл. 8 и 9).

#### Контрольные вопросы

1. Какая разница между прямым и косвенным измерением?
2. Что такое метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой?
3. Что такое комплексный и дифференцированный методы измерения?
4. Что такое погрешность измерения и какие составляющие влияют на ее величину?
5. Что такое поверка средств измерения?
6. Перечислите субъективные погрешности исполнителя измерения.

## ГЛАВА 4. СРЕДСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

### § 4.1. Меры длины

*Меры длины* — это средства измерения, имеющие постоянную длину, выполненную с высокой точностью. Меры длины являются исходными размерами для сравнения с ними измеряемых размеров деталей машин. Благодаря высокой точности всех мер они обеспечивают единство всех измерений линейных размеров.

По конструкции меры длины разделяются на концевые и штриховые. Штриховые меры длины — это многозначные меры, на которые нанесены шкалы с высокой точностью интервалов.

Концевые меры длины — это однозначные меры, размер которых образован противоположными измерительными поверхностями. Наиболее распространены в машиностроении *плоскопараллельные концевые меры длины* (КМД) (рис. 4.1). Особенность КМД заключает-

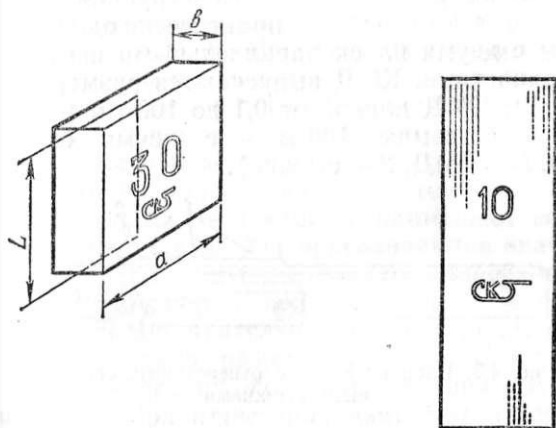


Рис. 4.1. Концевая мера длины. Номинальная длина КМД:

$a$  — длина основания,  $b$  — ширина основания

ся в том, что их измерительные поверхности имеют хорошую плоскостность, параллельны между собой и обладают весьма малой шероховатостью. Эти свойства обеспечивают одинаковое для данной меры расстояние

между измерительными поверхностями в любом месте, т. е. длины перпендикуляров, опущенных из любой точки одной измерительной поверхности на другую, одинаковы у данной меры.

Эти же свойства КМД обеспечивают прочное сцепление одной меры с другой (рис. 4.2) и позволяют собирать из отдельных мер блоки КМД. Суммарный размер такого блока равен сумме номинальных размеров мер, вошедших в него. Блоки из мер можно получить практически любого требуемого размера. Сила сцепления между мерами настолько велика, что блоки общей длиной до 100 мм применяются без дополнительного крепления, только за счет сил притираемости.

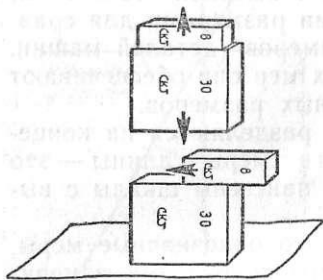


Рис. 4.2. Притирание КМД в блок

Конструкция всех КМД практически одинакова—это пластины с двумя плоскопараллельными измерительными поверхностями. КМД выпускаются размерами от 0,1 до 1000 мм; КМД длиной от 0,1 до 100 мм изготавливают цельными, а свыше 100 мм—с двумя отверстиями (рис. 4.3, 1—КМД, 2—стяжки).

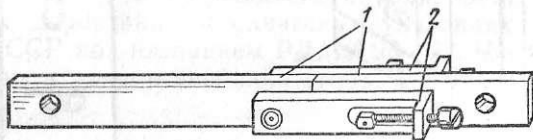


Рис. 4.3. Блок из КМД с отверстиями, соединенными стяжками

Материалом для изготовления КМД служат в подавляющем большинстве хромистые закаленные стали, применяют также и твердый сплав ВК6М.

Основные параметры плоскопараллельных концевых мер длины:

*длина (размер) концевой меры:* номинальная и действительная;

*плоскопараллельность измерительных поверхностей концевой меры (объединенная погрешность формы и рас-*

положения измерительных поверхностей) — равенство расстояний между измерительными поверхностями данной меры в разных местах;

*точность концевой меры:* точность длины и отклонение от плоскопараллельности измерительных поверхностей, — величина разности между наибольшим и наименьшим расстояниями от одной измерительной поверхности данной меры до другой;

*притираемость измерительных поверхностей концевой меры* — способность КМД сцепляться друг с другом при смещении в прижатом состоянии (см. рис. 4.2). Усилие сдвига после притирания должно быть не менее 10—80 Н, а сопротивляемость отрыву в перпендикулярном направлении — до 300—400 Н.

Существует два метода нормирования и использования точности концевых мер длины: метод классов точности и метод разрядов.

*Класс точности меры* показывает, какое отклонение имеет действительный размер концевой меры от ее номинального размера. Классы точности — это ряды допусков на изготовление действительных размеров в зависимости от величины номинального размера. Помимо этого в классе точности мер есть допускаемое отклонение от плоскопараллельности мер (см. ниже). Таких классов точности мер установлено пять: 00; 0,01; 1, 2 и 3 (по убыванию точности). Класс точности присваивается каждой мере при контроле годности ее изготовления и в эксплуатации при проверке ее состояния.

Кроме основных пяти классов применяют еще классы точности мер 4 и 5. Они присваиваются значительно изношенным и изменившим размер концевым мерам.

*Разряд* показывает, с какой погрешностью измерения аттестуется действительный размер длины концевой меры. Следовательно, разряды — это ряды величин погрешностей измерения, допускаемых при аттестации концевых мер. При аттестации измеряют в «срединной линии», т. е. измеряют длину перпендикуляра, опущенного из середины одной измерительной поверхности на другую. В то же время определяют величину отклонения от плоскопараллельности данной меры.

Установлено пять разрядов точности аттестации концевых мер длины — 1, 2, 3, 4 и 5 по убыванию точности измерения при аттестации.

**Номинальные размеры плоскопараллельных концевых мер длины.** Концевые меры длины изготавливаются

различных номинальных размеров, мм, со следующими градациями (разностью соседних размеров, мм):

0,001 . . . . .	0,991;	0,992;	0,993	до 1 мм	включительно
0,01 . . . . .	1,01;	1,02;	1,03	» 1,49	»
0,1 . . . . .	1,5;	1,6;	1,7	» 1,9	»
0,5 . . . . .	2,0;	2,5;	3,0	» 25	»
1,0 . . . . .	1,0;	2,0;	3,0	» 25	»
10 . . . . .	20;	20;	30	» 100	»
25 . . . . .	125;	150;	175	» 200	»

Инструментальные заводы выпускают концевые меры длины, скомплектованные в *наборы* и уложенные в отдельные футляры, для того чтобы из них можно было собирать блоки необходимых размеров. Особенности комплектовки всех наборов заключается в том, что в один набор должны вкладываться меры одного класса точности. При поверке мер набора в эксплуатации устанавливается всему набору единый класс точности по мере низшего класса точности из числа мер, вложенных в данный набор.

В целях повышения удобства пользования и расширения области применения при эксплуатации концевых мер длины применяют специальные *принадлежности*

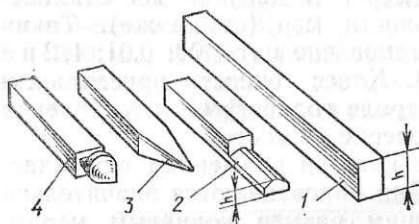


Рис. 4.4. Боковики для КМД

к этим мерам. Такие принадлежности выпускаются инструментальными заводами в различных наборах под названиями: измерительный, разметочный и набор для концевых мер с отверстиями. В зависимости от названия наборы укомплектовываются: державками; основанием для установки мер на плиту; стяжками для соединения в блок концевых мер с отверстиями (см. рис. 4.3); боковиками: плоскопараллельным 1, радиусным 2, чертильным 3, центровым 4 (рис. 4.4).

Применение плоскопараллельных концевых мер длины (КМД):

1. *Проверка точности средств измерения длин.* В этом случае поверяемым прибором как бы измеряют концевую меру (рис. 4.5). Отсчитав показание поверяемого средства измерения, поверитель сравнивает его с длиной меры по ее аттестату и подсчитывает разность между ни



ми, которая является погрешностью поверяемого средства измерения. Для такой поверки применяют так называемые образцовые КМД.

2. *Установка средств измерения длин на размер и на «0».* В этом случае применяют концевую меру или блок из мер в качестве исходного размера, т. е. измерение про-

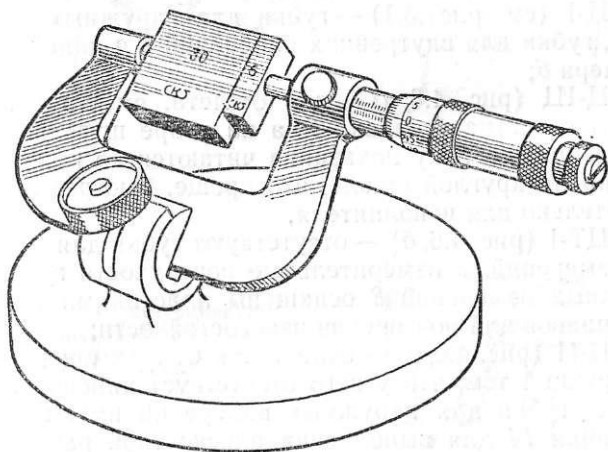


Рис. 4.5. Поверка гладкого микрометра от 25 до 50 мм блоком КМД

водится методом сравнения с мерой (см. рис. 3.8). Номинальный размер меры или блока берут возможно более близкий к номинальному размеру измеряемой детали. Для такого назначения применяют так называемые рабочие КМД.

3. *Измерения линейных размеров деталей машин непосредственно концевыми мерами длины с принадлежностями.*

#### § 4.2. Штангенинструменты

Штангенинструментами называют средства измерения линейных размеров, основанные на штанге со шкалой и нониусе — вспомогательной шкале для уточнения отчета показаний. К штангенинструментам относятся: штангенциркули, штангенглубиномеры и штангенрейсмасы.

**Штангенциркули.** Основными частями устройства

всех штангенциркулей являются штанга со шкалой 5, рамка 3, нониус 7, зажим 2 с плоской пружиной 4 (см. рис. 3.1).

Штангенциркули выпускаются следующих типов: ШЦ-I, ШЦ-ИЦ, ШЦТ-I, ШЦ-II и ШЦ-III. Каждый тип имеет общие основные части и свои следующие особенности:

ШЦ-I (см. рис. 3.1) — губки для наружных измерений 8, губки для внутренних измерений 1 и линейку глубиномера 6;

ШЦ-ИЦ (рис. 4.6, а) — для отсчета, вместо нониуса, служит отсчетная головка 9, а на ребре штанги укреплена рейка, поэтому показания читаются по положению стрелки на круглой шкале, что проще, быстрее и менее утомительно для исполнителя;

ШЦТ-I (рис. 4.6, б) — отсутствуют губки для внутренних измерений, а измерительные поверхности губок для наружных измерений 8 оснащены пластинами из твердых сплавов для повышения износостойкости;

ШЦ-II (рис. 4.6, в) — отличается от всех предыдущих конструкций тем, что у него отсутствует линейка глубиномера, губки для наружных измерений имеют острые окончания 14 для выполнения плоскостной разметки, а вторые губки 11 имеют поверхности для наружных и внутренних измерений. Помимо этого ШЦ-II оснащен микроподачей для плавного подведения губок к поверхности измеряемой детали. Микроподача состоит из рамки 10, винта 13 и гайки 12;

ШЦ-III (рис. 4.6, г) — отличается от ШЦ-II тем, что имеет только губки для наружных и внутренних измерений 11. Основные параметры штангенциркулей:

диапазоны измерения: ШЦ-I, ШЦ-ИЦ, ШЦТ-I — от 0 до 125 мм; ШЦ-II — от 0 до 200 мм, от 0 до 250 мм, от 0 до 320 мм; ШЦ-III — от 0 до 500 мм и от 800 до 2000 мм;

отсчеты по ноннусу: 0,1 и 0,05 мм.

Штангенциркули являются наиболее распространенными из штангенинструментов. В большинстве случаев они применяются для измерения наружных и внутренних размеров. Некоторыми из них (ШЦ-I) можно еще измерять глубину выемок и высоту уступов, а штангенциркулем ШЦ-II (рис. 4.6, в) можно также выполнять плоскостную разметку.

Штангенглубиномеры. Основанием штангенглубиномера является рамка 4, снабженная снизу опорой 6 с из-

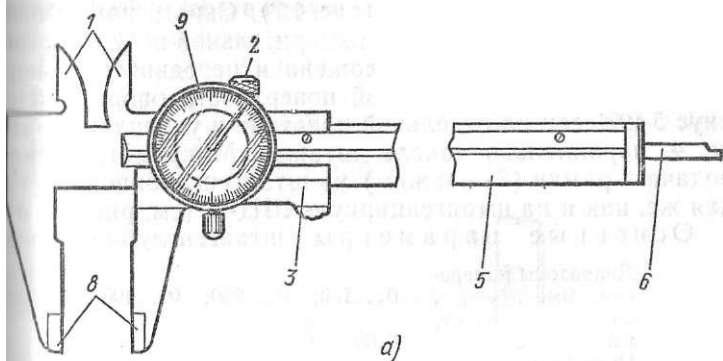
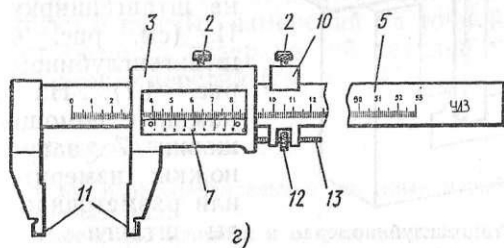
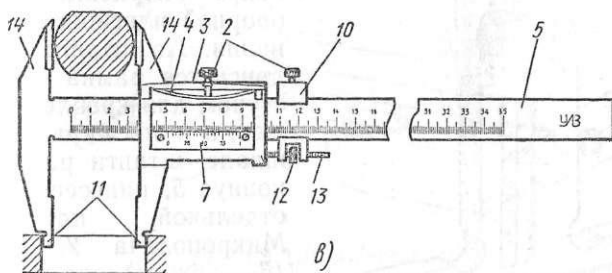
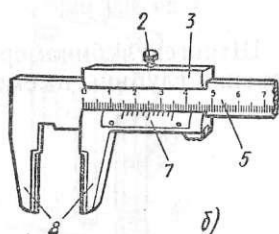


Рис. 4.6. Штангенциркули:  
 а — ШЦ-1Ц, модель 124 со стрелочной индикацией, б — ШЦТ-1 с губками, оснащенными твердым сплавом, в — ШЦ-11, г — ШЦ-111



мерительной поверхностью (рис. 4.7). Сквозь рамку проходит штанга со шкалой 1 и измерительной поверхностью на торце. Штанга 1 расположена и передвигается перпендикулярно измерительной поверхности опоры 6. Нониус 5 нанесен на отдельной пластине и укреплен в рамке 4 параллельно шкале штанги. Микрометрическая подача 2 рамки (3 — зажим) на штангенглубиномере такая же, как и на штангенциркуле ШЦ-II (см. рис. 4.6, в).

Основные параметры штангенглубиномеров

Диапазоны измерения, мм . . . . .	0...160; 0...250; 0...400
Отсчет по нониусу, мм . . . . .	0,05
Погрешность измерения размеров от 1 до 400 мм, . . .	от $\pm 0,100$ до $\pm 0,150$

Штангенглубиномеры применяются для прямого измерения глубины выемок и высоты уступов.

#### Штангенрейсмасы.

Опорной деталью штангенрейсмаса является основание 6 (рис. 4.8), в котором укреплена штанга 1 со шкалой, расположенная перпендикулярно опорной плоскости основания. По штанге передвигается рамка 4 с выступом для крепления ножек, а в ней параллельно шкале штанги размещен нониус 5, нанесенный на отдельной пластинке. Микроподача 2 рамки (3 — зажим) здесь применена такая же, как и на штангенциркуле ШЦ-II (см. рис. 4.6, в) и на штангенглубиномере (см. рис. 4.7). На выступе рамки с помощью державки 7 закрепляются ножки: измерительная 8 или разметочная 9. Шкалы штанги и нониуса

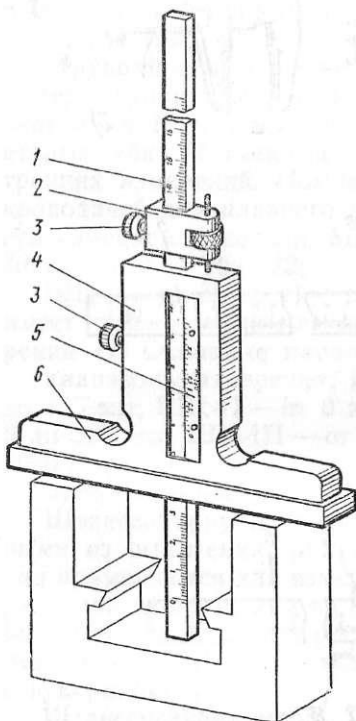


Рис. 4.7. Штангенглубиномер

Штангенрейсмасы выполняют такие же, как и на штангенциркулях и штангенглубиномерах.

Основные параметры штангенрейсмасов:

Диапазоны измерения, мм . . . . .	0...250; 40...400 и более до 1500...2500
Отсчеты по нониусу, мм . . . . .	0,05 и 0,10

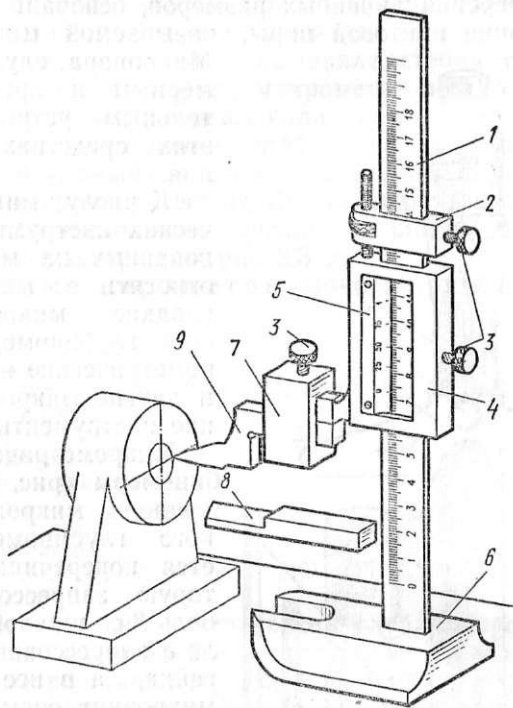


Рис. 4.8. Штангенрейсмас

Штангенрейсмасы применяются для пространственной разметки и прямых измерений на точной плите расстояний от базовых поверхностей деталей до выемок, выступов и осей отверстий (см. рис. 4.8).

#### Контрольные вопросы

1. Что такое плоскопараллельные концевые меры? Опишите их устройство и показатели.
2. Что такое класс точности и разряд концевых мер длины?

3. Какие средства измерения входят в число штангенинструментов?

4. Опишите основные части и применение штангенциркулей.

5. Расскажите, как производится отсчет по нониусу.

### § 4.3. Микрометрические инструменты

Микрометрическими инструментами называют средства измерения линейных размеров, основанные на использовании винтовой пары, называемой микропарой. Микропара служит размерным и преобразовательным устройством в этих средствах измерения.

К числу микрометрических инструментов, основанных на микропаре относят: микрометр гладкий, микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры и другие микрометрические инструменты.

**Микрометрические глубиномеры** (рис. 4.9). Основанием микрометрического глубиномера является поперечина 5, в которую запрессован стержень 3 со шкалой. В стержне 3 запрессована микрогайка, а в нее ввинчен микровинт, совместно они образуют такую же микропару, как и в микрометре гладком. На микровинте укреплен барабан 2 со шкалой, а на барабане расположена трещотка 1.

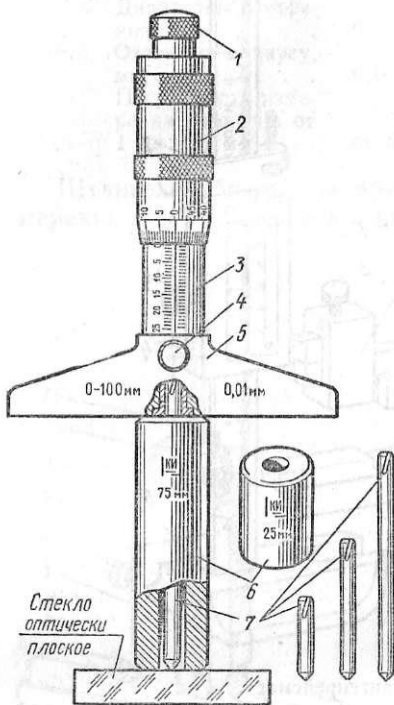


Рис. 4.9. Микрометрический глубиномер

Требуемое во время измерения положение микровинта закрепляется стопором 4.

При вращении барабана 2 вместе с ним вращается микровинт и ввинчивается в микрогайку, причем выдвигается из основания на требуемую глубину. Глубиномер устанавливается на «0» по установочным меркам-шту-

нам 6 на плоской стеклянной пластине или другой точной плоской поверхности.

В торце микровинта выполнено отверстие, в которое вставляются сменные измерительные стержни 7. Особенность микрометрического глубиномера в том, что числовые значения штрихов шкалы стебля расположены, уменьшаясь при удалении барабана от основания 5, так как соответственно уменьшаются размеры глубины измеряемого уступа. Обратите внимание: это противоположно расположению цифр на шкале стебля гладкого микрометра, потому что на микрометре при удалении барабана от скобы размеры вала увеличиваются, а на глубиномере при удалении барабана от поперечины глубина уступа уменьшается. Числа значений штрихов на барабане микрометрического глубиномера также расположены противоположно числам и шкале барабана гладкого микрометра (см. рис. 3.3, а).

Основные параметры микрометрического глубиномера:

Диапазоны измерения, мм . . . . .	0...25;	0...50;	0...75;	0...100
Число сменных стержней, шт. . . . .		2	3	4
Размеры установочных мер-втулок, мм . . . . .	25	50		75
Цена деления шкалы барабана, мм . . . . .		0,01		

Применение: микрометрическим глубиномером измеряют глубину выемок и высоту уступов в деталях машин.

**Микрометрический нутромер** (рис. 4.10). Микрометрический нутромер состоит из двух основных частей: микрометрической головки и удлинителя. Микрометрическая головка (рис. 4.10, а) имеет стебель 5 с такой же шкалой, как на стебле гладкого микрометра. В стебле с одной стороны расположена микропара с микровинтом 8 и микрогайкой 9. На микровинте укреплен барабан со шкалой, закрепляемый контргайкой 10. Микропара с барабаном 7 закрепляется стопором 6. В стебле 5 с другой стороны микроголовки расположено отверстие с резьбой, в которое ввинчивается наконечник измерительный 4, а при необходимости удлинитель (рис. 4.10, б).

Удлинитель и наконечник имеют трубку-корпус 1, измерительный стержень 3 и пружину контакта 2.

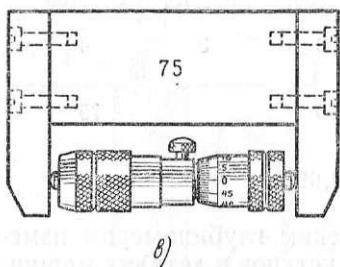
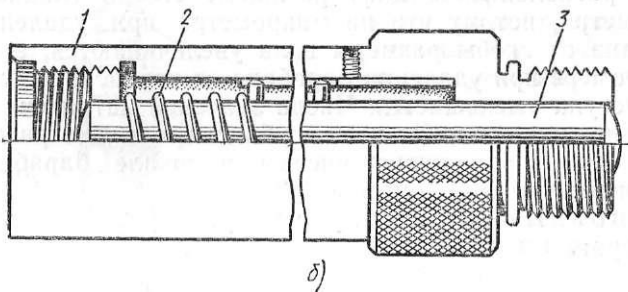


Рис. 4.10. Микрометрический нутромер:

*a* — микрометрическая головка, *б* — удлинитель, *в* — установочная мера-скоба

Микрометрические нутромеры выпускаются в виде наборов микрометрических головок с наконечниками и комплектов удлинителей к ним. Микрометрическая головка устанавливается на «0» по прилагаемой мере-скобе (рис. 4.10, *в*).

Правильное положение нутромера, в котором можно читать показание по шкалам микроголовки, такое, в котором нутромер не сдвигается в поперечном направлении и плотно касается образующей отверстия в продольном направлении.

После установки нутромера в правильное положение показание нутромера и результат измерения подсчитывают.



вается как сумма: исходный размер головки + размер удлинителя + показание шкал головки.

**Основные параметры микрометрического нутромера:**

Диапазоны измерения:

микрометрической головкой, мм	от 50 до 63; от 75 до 88
наборами с микроголовкой, мм . . .	50 до 75; 75 до 175; 75 до 600
наборами с микроголовкой и индикатором, мм . . .	150 до 1250; 800 до 2500; 1250 до 4000; 2500 до 6000; 4000 до 10 000

Микрометрическими нутромерами измеряют диаметры отверстий, ширину пазов и другие внутренние линейные размеры и отклонения формы деталей машин.

#### § 4.4. Измерительные головки

Измерительными головками принято называть средства измерения, имеющие механические преобразующие устройства, которые преобразуют малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки, наблюдаемые по шкале отсчетного устройства.

**Индикаторы часового типа.** Индикатор часового типа относится к *многооборотным* измерительным головкам, так как его основная стрелка при измерении может делать как часть оборота, так и несколько оборотов в зависимости от величины перемещения воспринимающего устройства — наконечника. Для отсчета числа оборотов на оси реечного колеса 5 укреплен малая стрелка-указатель числа оборотов 6, движение которого отсчитывается по малой секторной шкале (см. рис. 3.4). В действии механизма индикатора существенную роль играют его пружины: пружина измерительного усилия 10, обеспечивающая постоянство силы прижатия измерительного наконечника 4 к поверхности измеряемой детали, и пружинный волосок 12, который через контактное зубчатое колесо 11 обеспечивает постоянство контакта всех зубьев передачи индикатора одними профилями независимо от направления движения измерительного стержня-рейки — вверх или вниз. Этим ликвидируется «мерт-

вый ход» при перемене направления хода стержня 1. Индикатор часового типа во время измерений устанавливается в стойках или штативах. Для присоединения к этим базирующим устройствам корпус индикатора 13 оснащен гильзой 3 или ушком 14.

Основные параметры индикатора часового типа:

Диаметр корпуса, мм . . . . .	40 и 60
Диапазон показаний (ход измерительного стержня), мм . . . . .	2; 5; 10
Присоединительный размер гильзы, мм . . . . .	Ø8

Индикатор часового типа широко используется в машиностроении для самых разнообразных измерительных и наладочных задач. Одним из основных видов его применения является измерение линейных размеров деталей машин методом сравнения с мерой (см. рис. 3.8), измерение отклонений формы (см. рис. 5.7) и расположения поверхностей (см. рис. 5.13, *e*), а также использование в виде отсчетной стрелочной головки в различных измерительных и наладочных приспособлениях.

**Индикаторы рычажно-зубчатые** (рис. 4.11, *a*). Так называют отсчетные измерительные головки с поворотным движением измерительного наконечника. Часто их еще называют измерительными головками бокового действия.

Основанием этого индикатора является корпус 11. Снизу корпус имеет ось, на которой покачивается воспринимающий отклонения детали измерительный наконечник-рычаг 12, который можно еще повернуть и установить от среднего положения на  $\pm 90^\circ$ . Наконечник 12 соединен зубчатой муфтой с рычагом 5, на другом конце которого нарезан зубчатый сектор. Таким образом, получается, что измерительного стержня с поступательным вдоль оси перемещением, как у индикатора часового типа, у рычажно-зубчатого индикатора нет. Здесь колебания детали воспринимаются сферическим концом наконечника-рычага 12, а дальше они передаются для преобразования в большие величины рычагом с зубчатым сектором 3 зубчатому цилиндрическому колесу 2, укрепленному на одной оси с торцевым зубчатым колесом 1. Зубья торцевого колеса 1 сцеплены с удлиненной трибкой 7, на оси которой укреплена стрелка 8 (6 — пружина). Повороты стрелки отсчитываются по круглой шкале-циферблату, вставленному в ободок 10

(рис. 4.11, б). Покачивание сферы наконечника-рычага на 0,01 мм преобразуется рычажно-зубчатой передачей 2—1—7 в поворот стрелки на одно деление шкалы с

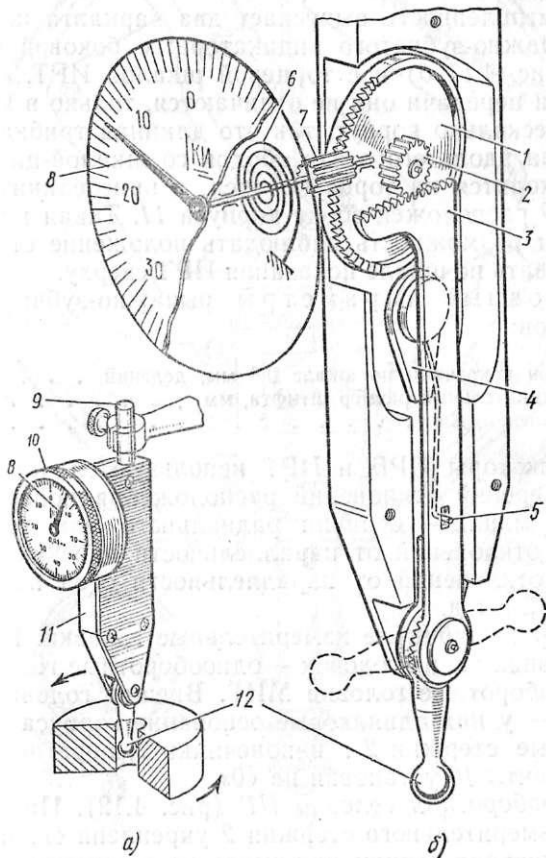


Рис. 4.11. Индикатор ИРБ:  
а — общий вид, б — конструктивная схема

интервалом 1,0 мм, т. е. цена деления шкалы индикатора равна 0,01 мм.

При измерении (рис. 4.11, б) может возникнуть необходимость покачивания рычага-наконечника в противоположную сторону; тогда переключателем 4 сдвигают рычаг-сектор 3 в противоположную исходную сторону, и стрелка 8 показывает колебания детали в противополо-

ложную сторону. Для присоединения рычажно-зубчатого индикатора во время измерения к базирующему устройству корпус индикатора 11 оснащен присоединительным штифтом 9.

Промышленность выпускает два варианта конструкции рычажно-зубчатого индикатора: с боковой шкалой ИРБ (рис. 4.11, б) и с торцевой шкалой ИРТ. По конструкции передачи они не отличаются, только в ИРТ изменен несколько корпус, так что длинная трибка 7 расположена вдоль его оси и ободок со шкалой-циферблатом находится на торце корпуса, а присоединительный штифт 9 расположен сбоку корпуса 11. Такая конструкция дает возможность наблюдать положение стрелки и отсчитывать по шкале показания ИРТ сверху.

Основные параметры рычажно-зубчатых индикаторов:

Диапазон показаний по шкале 0,8 мм, делений . . . . .	±40
Присоединительный размер штифта, мм . . . . .	∅5
Цена деления, мм . . . . .	0,01

Индикаторы ИРБ и ИРТ используются чаще всего для измерений отклонений расположения поверхностей деталей машин — величин радиального или торцевого биений, отклонений от параллельности плоских поверхностей, отклонений от параллельности осей валов или отверстий и т. д.

**Рычажно-зубчатые измерительные головки.** Различают два вида таких головок — однооборотные головки ИГ и многооборотные головки МИГ. Внешне головки очень похожи — у них одинаковые основания-корпуса 6, измерительные стержни 2 и наконечники 1, арретиры-отводки 4 и винты 10 установки на «0».

*Однооборотная головка ИГ* (рис. 4.12). На верхнем торце измерительного стержня 2 укреплен скоба с пяткой 5, которая сверху нажимает на эксцентрик малого плеча  $l_p$  передаточного рычага 10. Этот рычаг через механизм рычажно-зубчатой передачи придает вращение стрелке 7.

Весь механизм рычажно-зубчатой передачи смонтирован на поворотной плате и может вместе с ней поворачиваться вокруг оси поворота 8 под действием рычага 9, приводимого в движение винтом 10. Это устройство используется при необходимости установить стрелку 7 на «0» шкалы без передвижения всей головки и установочной меры. Если необходимо поднять измеритель-

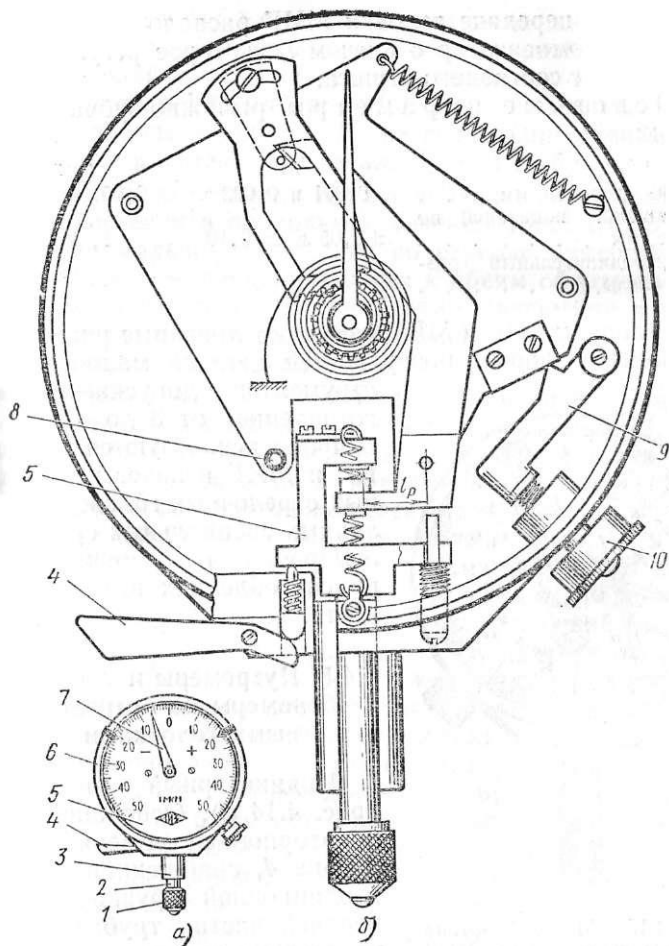


Рис. 4.12. Однооборотная измерительная головка ИГ:  
 а — общий вид, б — конструктивная схема

ный наконечник над деталью или концевой мерой, то, нажимая на арретир 4 через штифт и скобу 5, поднимают стержень 2, а с ним и наконечник 1.

Для присоединения головки ИГ к стойке корпус 6 имеет снизу гильзу 3.

Многооборотная измерительная головка МИГ (рис. 4.13) имеет в принципе такую же конструкцию, как и головка ИГ. Отличие заключается в том, что в преоб-

разующей передаче головки МИГ расположен двухконтактный компенсатор с плечом  $l_k$ , которое регулируется смещением составного рычага.

Основные параметры рычажно-зубчатых головок:

	ИГ	МИГ
Цена деления, мм . . .	0,001 и 0,002	0,001 и 0,002
Диапазон показаний по шкале, мм . . . . .	$\pm 0,05$ и $\pm 0,10$	1, 2, 5
Присоединительный размер гильзы, мм . . . . .	8	

Головками ИГ и МИГ измеряют линейные размеры и отклонение формы поверхностей деталей машин и инструментов с допусками на изготовление от 3 до 20 мкм. Широко используются головки ИГ и МИГ в качестве отсчетных стрелочных головок в различных специальных средствах измерения и измерительных приспособлениях высокой точности.

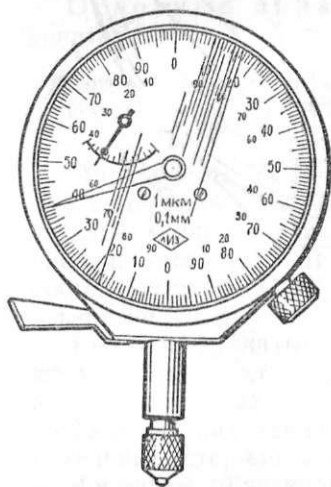


Рис. 4.13. Многооборотная измерительная головка МИГ

#### § 4.5. Нутромеры и глубиномеры со стрелочными отсчетными головками

Индикаторный нутромер (рис. 4.14, а). Основанием индикаторного нутромера служит трубка 4, снабженная теплоизоляционной ручкой 6. В верхней части трубка имеет присоединительное отверстие с зажимом 8. В отверстие вводится и закрепляется гильза

корпуса отсчетной стрелочной измерительной головки 7. В большинстве случаев ею является индикатор часового типа (откуда и название индикаторный нутромер) или рычажно-зубчатая головка ИГ с ценой деления 0,001 или 0,002 мм. В нижней части основания-трубки расположена головка самого прибора, которая состоит из корпуса 9, центрирующего мостика 11 и воспринимающих измерительных стержней-наконечников — жесткого 10 и подвижного 1. Движение подвижного наконечника 1

через рычаг 2, шток 3 и червяк 5 передается измерительному наконечнику и стержню измерительной головки. Центрирующий мостик 11 устанавливает ось измерения нутромера, которой является общая ось измерительных стержней-наконечников 1 и 10, на совпадение с диаметром отверстия измеряемой детали (рис. 4.14, б).

Исполнителю остается только покачать нутромер в осевой плоскости в продольном сечении (рис. 4.14, б) и найти минимальное положение по стрелке измерительной головки, т. е. перпендикуляры к обеим образующим измеряемого отверстия. В совпадении максимума и минимума отсчетов и есть действительный размер отверстия в измеряемом сечении.

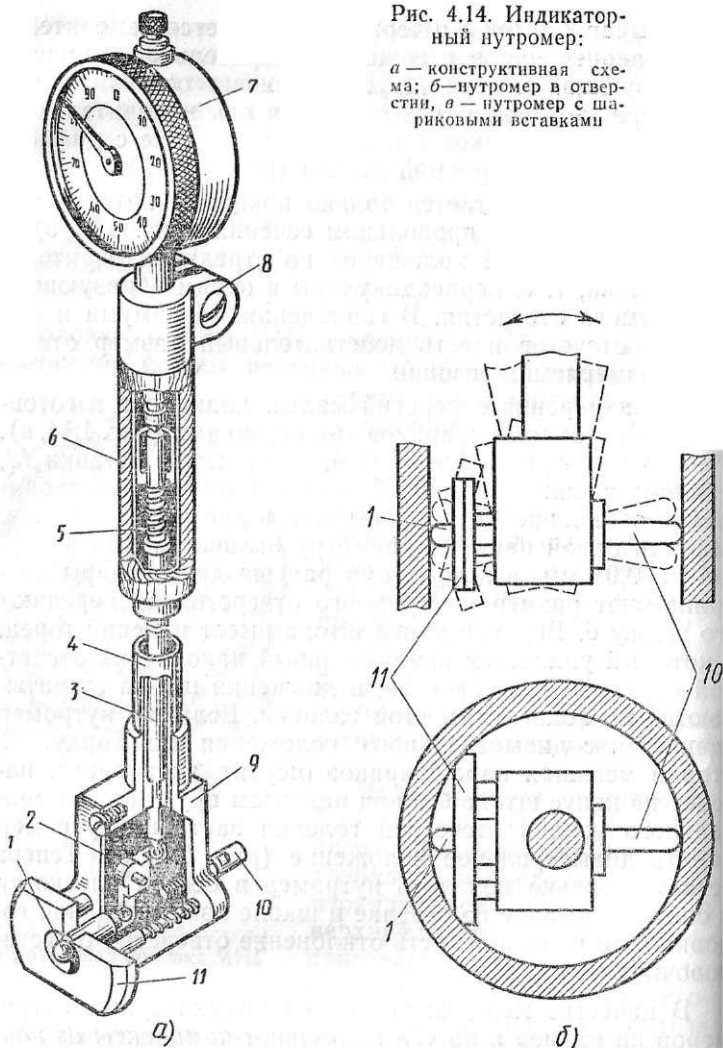
Для измерения отверстий малых диаметров изготавливаются нутромеры с шариковыми вставками (рис. 4.14, в). В них используются сменные измерительные вставки 13, в которых движется шток 6, который имеет снизу коническое окончание 12, упирающееся в две пары шариков. Шарик одной пары по диаметру больше шариков другой на 0,01 мм, а потому они раньше другой пары воспринимают размер измеряемого отверстия и передают его штоку 6. Верхний конец штока имеет плоский торец, в который упирается измерительный наконечник отсчетной стрелочной головки 15, и движения штока отсчитываются по показаниям этой головки. Если же нутромер сдвинется с диаметрального положения на хорду, то вторая меньшая пара шариков ощутит этот сдвиг, нажмет на конус штока 6 и под нажимом пружины измерительного усилия отсчетной головки заставит нутромер занять диаметральное положение (рис. 4.14, в). Теперь остается только покачать нутромер в осевой плоскости и снять показание по стрелке и шкале измерительной головки. Это показание есть отклонение отверстия от установочной меры.

В качестве мер для установки индикаторных нутромеров на размер и на «0» применяют комплекты из концевых мер длины и боковок или установочные кольца. В комплект для установки нутромера включают: блок из концевых мер, подобранный по номинальному размеру измеряемого отверстия; два боковика (плоскопараллельные или радиусные) и державку.

Установочные кольца представляют собой стальные закаленные кольца, имеющие высокоточные отверстия по размеру диаметра и форме поверхности. Эти кольца

Рис. 4.14. Индикаторный нутромер:

*а* — конструктивная схема; *б* — нутромер в отверстии, *в* — нутромер с шариковыми вставками



измерены с весьма малой погрешностью. Действительный размер каждого кольца записан в его аттестат или нанесен на его торце.

Основные параметры индикаторных нутромеров:



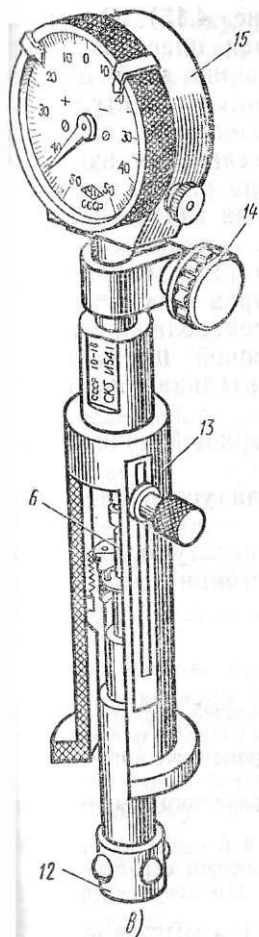


Рис. 4.14.  
Продолжение

Нутромеры с центрирующим мостиком:

Диапазоны измерений, мм . . . . . 6...10; 10...18;  
18... 50; 50...100;  
100...160; 160...250;  
250...450;  
450...700; 700...1000

Нутромеры с шариковыми вставками:

Диапазоны измерений, мм . . . . . 3...6; 6...10; 10...18

Цена деления зависит от установленной на нутромер измерительной стрелочной головки. Обычно применяют на нутромерах с мостиком 1, 2 или 10 мкм; на нутромерах с шариковой вставкой 1 или 2 мкм.

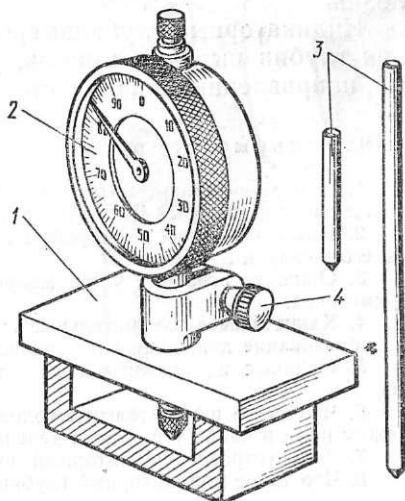


Рис. 4.15. Глубиномер индикаторный

— Наибольшее распространение в машиностроении получили измерения индикаторными нутромерами диаметров отверстий и отклонений формы их поверхностей. Эти измерения значительно производительнее, чем измерения микрометрическими нутромерами, и обладают более высокой точностью.

**Индикаторный глубиномер** (рис. 4.15). Основанием 1 этого средства измерения является пластина с точной опорной плоскостью. Перпендикулярно этой плоскости на основании укреплена присоединительная втулка, в которую вставляется гильза измерительной головки 2 и закрепляется зажимом 4. Для увеличения измеряемой глубины в измерительный стержень измерительной головки вместо основного наконечника могут вставляться сменные измерительные стержни 3.

Основные параметры индикаторных глубиномеров: диапазон измерения глубиномеров с основными измерительными наконечниками равен величине хода измерительного стержня установленной на глубиномер отсчетной головки; здесь предпочтительна головка МИГ с ходом 5 мм;

при использовании сменных стержней диапазоны измерения — от 0 до 120 мм;

цена деления — зависит от типа установленной головки.

Индикаторные глубиномеры используют при измерении глубин выточек, выемок, расстояний между торцами, направленными в одну сторону.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое микрометр? Из каких частей состоит микрометр и какой шаг ее резьбы? Какая цена деления шкалы микрометра?

2. В чем особенность устройства микрометрического глубиномера, его шкалы и применения?

3. Опишите основные части микрометрического нутромера и его применение.

4. Какие знаете измерительные головки и как в них получается преобразование движения наконечника в поворот стрелки?

5. Опишите индикатор часового типа, его цену деления и применение.

6. Что такое измерительные головки ИГ и МИГ? В чем разница между ними и какая у них цена деления шкалы?

7. Как устроен индикаторный нутромер? Как его применяют?

8. Что такое индикаторный глубиномер? Какое у него основание?

#### § 4.6. Скобы с отсчетными устройствами

**Скоба индикаторная** (рис. 4.16). Основанием индикаторной скобы служит корпус-скоба 5, снабженная выемкой для руки. В рабочей выемке скобы расположены находящиеся на одной измерительной оси с одной стороны подвижная пятка 2, воспринимающая изменения размеров измеряемой детали, а с другой стороны — перестав-

ная пятка 1. Сбоку установлен упор 6. Движения подвижной пятки 2 передаются измерительному наконечнику индикатора часового типа 4, служащего здесь измерительной головкой, т. е. преобразующего измерения размера детали, воспринятые подвижной пяткой, в перемещения основной стрелки. Плотность контакта измерительной поверхности пятки 2 с поверхностью детали, введенной в рабочую выемку скобы, обеспечивается суммой сил пружины измерительного усилия 3 скобы и пружины измерительного усилия индикатора часового типа 4.

Индикаторная скоба устанавливается на размер по образцовому аттестованному валу или по блоку КМД, равному наибольшему предельному размеру измеряемой детали.

Основные параметры индикаторной скобы:

Диапазоны измерения, мм	0...50; 50...100; 100...200; 200... ...300; 300...400; 400...500
Ход подвижной пятки	3
Цена деления головки, мм	0,01

Наиболее распространены измерения этими скобами линейных размеров деталей цилиндрической формы в серийном производстве машин. Скобы удобны в применении, производительны, но обладают относительно невысокой точностью. Чаще всего ими измеряют гладкие ва-

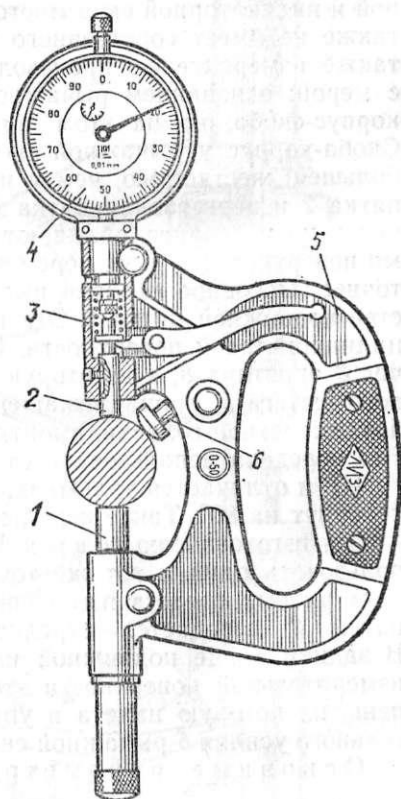


Рис. 4.16. Скоба индикаторная

лы после токарной обработки резцами или после круглой шлифовки, но при допусках на размер не менее 0,05 мм.

**Скоба рычажная** (рис. 4.17). В устройстве рычажной и индикаторной скоб много общего. Рычажная скоба также не имеет собственного размерного устройства и также измерение ею производится методом сравнения с мерой; основанием рычажной скобы также является корпус-скоба, но на этом аналогия и заканчивается. Скоба-корпус у рычажной скобы обладает значительно большей жесткостью, чем у индикаторной. Подвижная пятка 2 и переставная пятка 1 у рычажной скобы значительно массивнее, обладают большими измерительными поверхностями и их перемещения происходят гораздо точнее. Основное отличие рычажной скобы — в устройстве подвижной пятки 2. Эта пятка имеет две выемки в цилиндрической поверхности. В одну из них входит рычаг 3 арретира 8, а во вторую — наконечник передаточного рычага 5, принадлежащего к преобразующей передаче отсчетной головки, вмонтированной в корпус скобы. Эта передача использована от рычажно-зубчатой головки ИГ и отличается только тем, что компенсатор 7 здесь повернут на 80°. Такое использование дает возможность заводу-изготовителю головок ИГ и рычажных скоб использовать один и тот же точный механизм на сборке двух разных средств измерения. Движение подвижной пятки 2 передается стрелке 4 отсчетной головки. В заднем торце подвижной пятки 2, противоположном измерительной поверхности этой пятки, выполнена ступень, на которую надета и упирается пружина измерительного усилия 6 рычажной скобы.

Основные параметры рычажной скобы:

Диапазоны измерения, мм . . .	0...25; 25...50; 50...75; 75...100; 100...125; 125...150
-------------------------------	--

Цена деления, мкм . . . . .	2	5
-----------------------------	---	---

Меньшая величина цены деления шкал отсчетных устройств 2 и 5 мкм и относительно меньшие погрешности измерения существенно отличают точность измерения рычажными скобами от измерения индикаторными скобами или гладкими микрометрами. Это и определяет их использование для измерения деталей с более жесткими допусками. В основном это наиболее точные детали двигателей, турбин, станков; инструменты; детали машин, сопрягаемые с подшипниками качения.

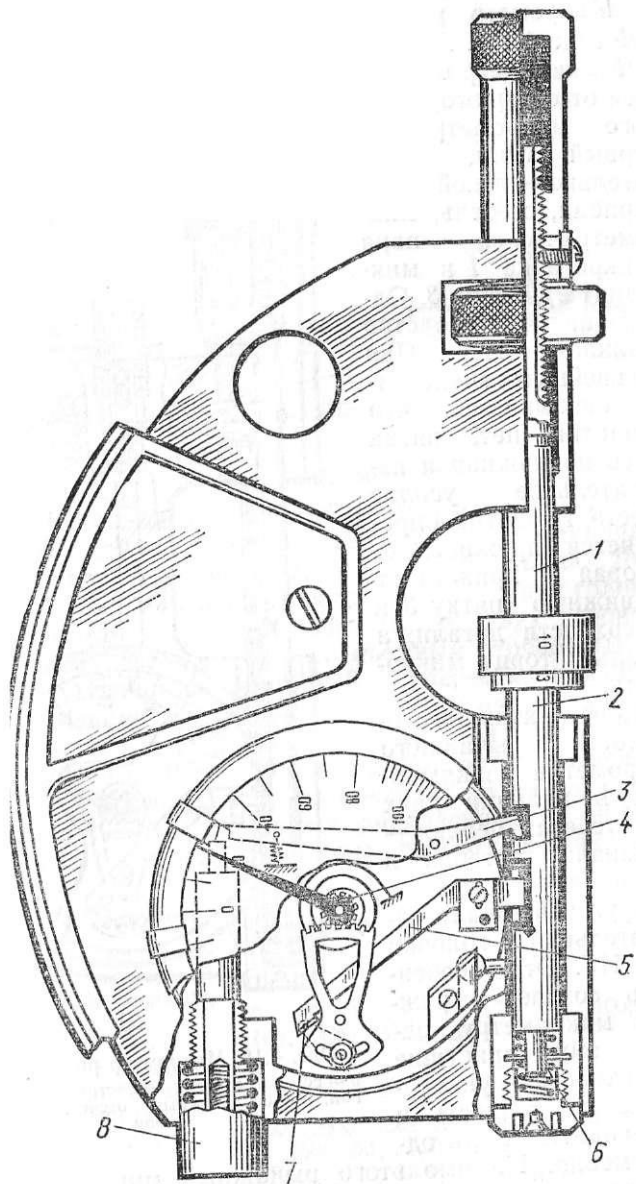


Рис. 4.17. Скоба рычажная

**Микрометр рычажный** (рис. 4.18). Рычажный микрометр отличается от обычного, гладкого микрометра на первый взгляд незначительно — такой же барабан, стембель, микрометрическая пара (микрогайка 1 и микровинт 2), пятка 3. Однако на этом сходство и заканчивается. При дальнейшем знакомстве оказывается, что трещотки нет, пятка здесь подвижная и измерительное усилие вместо трещотки определяется пружиной 4, которая прижимает подвижную пятку 3 к поверхности детали, а деталь к торцу микровинта.

Конструктивная особенность рычажного микрометра заключается в наличии двух зон отсчета: первая — по шкалам стембля и барабана, а вторая — по круговой шкале измерительной головки типа ИГ. Эта особенность создает рычажному микрометру одному ему присущие возможности — универсальность, точность и производительность од-

новременно. Помимо этого рычажный микрометр имеет свое размерное устройство — микровинт + гайка + стембель + скоба, а это значит, что с его помощью можно измерять методом непосредственной оценки, т. е. для

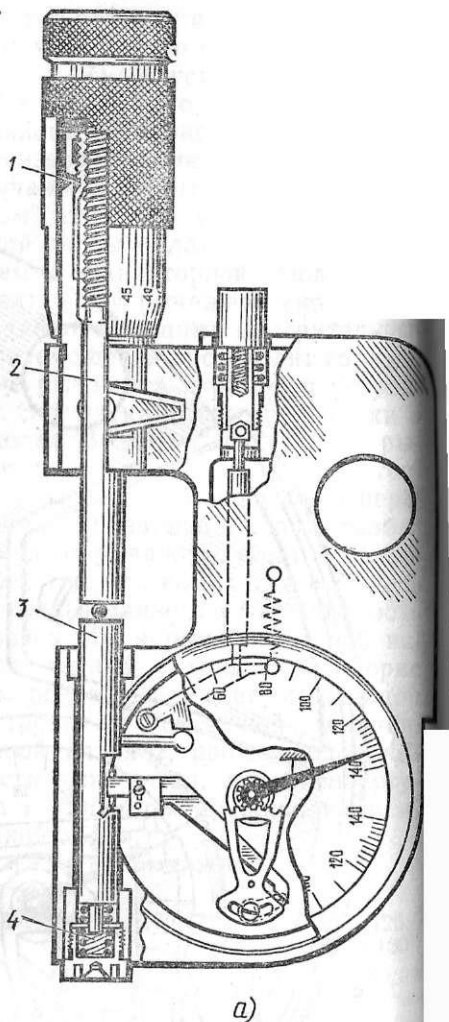


Рис. 4.18. Микрометр рычажный:  
 а — со встроенным отсчетным устройством, б — со съемным отсчетным устройством

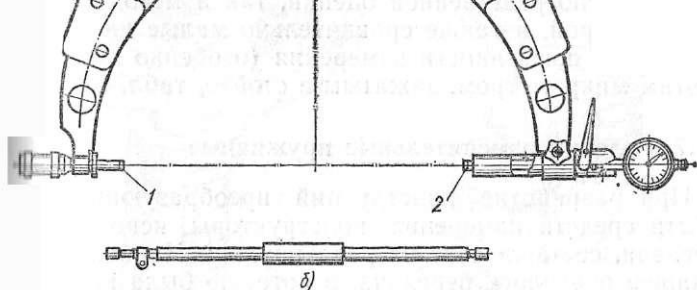


Рис. 4.18. Продолжение

него не нужны ни КМД, ни образцы. Размер детали определяется сопоставлением с шагом резьбы микропары и отсчитывается по шкалам стебля и барабана. Доли деления барабана отсчитываются по стрелочной головке.

Рычажные микрометры изготовляют двух типов: со встроенным (рис. 4.18, а) и со съемным стрелочным отсчетным устройством (рис. 4.18, б), переставляемым на разные позиции в пределах диапазона измерения. Рычажные микрометры первого типа изготовляют в пределах размеров от 0 до 150 мм, с диапазонами измерения в 25 мм, а второго типа — в пределах размеров свыше 150 мм до 1000 мм с разными диапазонами измерения.

Основные параметры рычажных микрометров:

Диапазоны измерений:

Рычажные микрометры с встроенной стрелочной головкой, мм . . . . . 0...25; 25...50; 50...75; 75...100; 100...125; 125...150

Рычажные микрометры со съемной стрелочной головкой, мм . . . . . 150...200; 200...250; 250...350; 350...450; 450...550 и т. д. до 1000; 1000...1200; 1200...1400 и т. д. до 2000

Цены деления, мкм:

микропары . . . . . 0,01  
измерительной головки . . . . . 2 — до 100 мм; 5 — от 100 до 500 мм;  
ки . . . . . 10 — св. 500 мм

Все рычажные микрометры для размеров свыше 25 мм оснащаются одной или двумя установочными мерами с размером, равным нижнему пределу измерения.

Основным преимуществом рычажного микрометра является универсальность, возможность измерения как методом непосредственной оценки, так и методом сравнения с мерой, а также сравнительно малые для машиностроения погрешности измерения (особенно при работе этим микрометром, зажатым в стойке, табл. 8 и 9).

#### § 4.7. Головки измерительные пружинные

При разработке конструкций преобразующих устройств средств измерения конструкторы использовали передачи, составленные из ряда пружин. Наиболее подходящей оказалась передача, в которую была включена спиральная пружина с двумя участками, имеющими противоположные направления завивки спиралей.

Представить себе такую пружину легко по простой модели — такой моделью может служить обертка обычной конфеты-карамели. Возьмите ее двумя руками за концы обертки и слегка потяните в разные стороны — карамель немного повернется вокруг оси. Теперь слегка сдвиньте руки навстречу друг другу — карамель повернется немного в обратную сторону. Вглядитесь внимательно в обертку карамели и вы обнаружите, что эти повороты происходят потому, что бумага обертки на концах закручена в разные стороны. Модель станет еще натуральнее, если в тело карамели воткнуть перпендикулярно ее продольной оси обычную булавку. Теперь, двигая концы обертки в разные стороны, увидим, что булавка стала стрелкой, углы поворота которой соответствуют величине растяжения обертки. Если нанести на плотную бумагу ряд штрихов, имитируя шкалу, и поставить бумагу перпендикулярно продольной оси карамели, то при последовательном растягивании и сближении концов обертки увидим, как стрелка будет показывать по штрихам шкалы величины поворота карамели, соответственные растяжениям-сжатиям концов ее обертки.

Так мы получили модель преобразующе-отсчетного устройства пружинной измерительной головки.

На рис. 4.19, а показана конструктивная схема пружинной головки — микрокатора. Здесь пружинно-передаточная лента 2 и есть обертка карамели нашей моде-



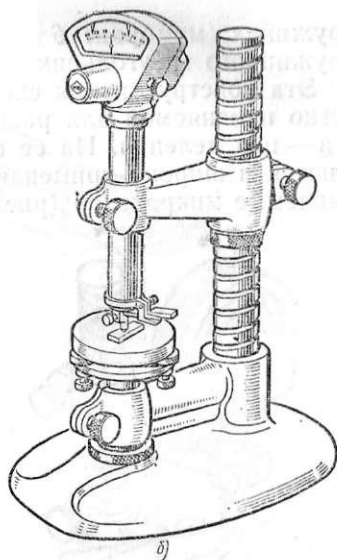
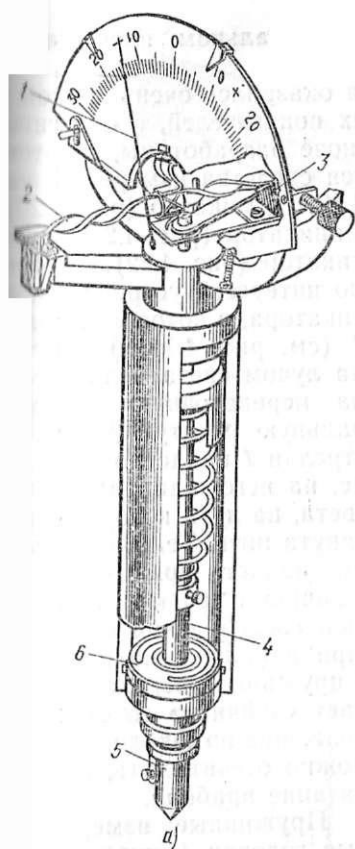


Рис. 4.19. Измерительная пружинная головка — микроиндикатор: *а* — пружинный механизм передачи и преобразования, *б* — общий вид в стойке

ли. Она тоже имеет вид двойной спиральной пружины, закрученной в разные стороны на участках, расположенных по разные стороны от центральной площадки, к которой прикреплен стрелка-указатель 1. Перемещения стрелки-указателя отсчитываются по шкале, расположенной в плоскости, перпендикулярной оси передаточной ленты. Растягивание и ослабление двухспиральной ленты 2 выполняется вертикальным плечом — катетом пружинного рычага-треугольника 3, который отклоняется от вертикального положения вправо или влево при перемещениях вверх — вниз измерительного стержня с измерительным наконечником 5. Чтобы полностью ликвидировать погрешности из-за трения и проскальзывания, измерительный стержень 4 подвешен на двух плоских

пружинах: мембране 6 и горизонтальном плече-катете пружинного треугольника 3.

Эта конструктивная схема оказалась очень гибкой и легко изменяемой для разных показателей, в особенности — цен деления. На ее основе разработаны, изготавливаются и широко применяются средства измерения, называемые микрокатор (рис. 4.19, б), микатор (рис. 4.20),

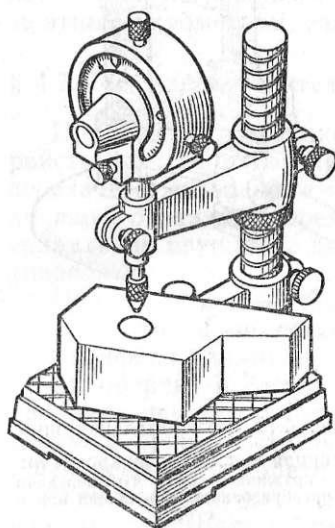


Рис. 4.20. Измерительная пружинная головка—микатор (общий вид в стойке С-IV)

миникатор (рис. 4.21) и оптикатор (рис. 4.22). Особенно интересно устройство оптикатора, в котором стрелка 1 (см. рис. 4.19, а) заменена лучом света. Для этого на передаточную двухспиральную ленту 2 вместо стрелки 1 наклеено зеркальце, на него направлен луч света, на пути которого протянута нить. Теперь на шкалу падает прямоугольный «зайчик» с тенью нити, ставшей своеобразной стрелкой. При движении наконечника 5 пружинная передача придает «зайчику» со стрелкой движение по шкале, которое можно отсчитывать, как показание прибора.

Пружинные измерительные головки (микрокатор и оптикатор) настолько чувствительны и точны, что их

изготавливают с ценами делений 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5 мкм

Основные параметры пружинных измерительных головок:

	Микрокатор	Микатор	Оптикатор	Миникатор
Цена деления шкалы, мкм . . . . .	0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0	0,2; 0,5; 1,0; 2,0	0,1; 0,2; 0,5	1 или 2 при смене наконечников
Число делений шкалы . . . . .	±20; ±30; ±40	±50	±125	±40
Присоединительный размер, мм . . . . .	∅28	∅8	∅28	∅5

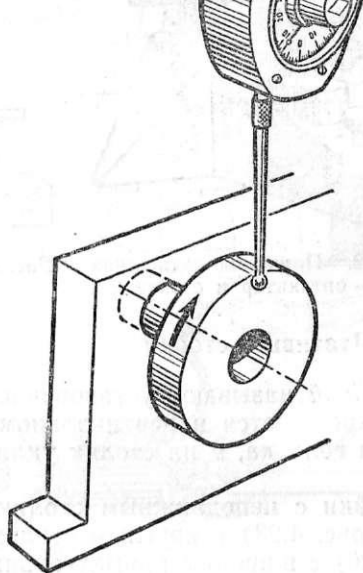


Рис. 4.21. Рычажно-пружинная головка — миникатор

Наиболее рационально применять пружинные измерительные головки для измерений различного рода биений: радиального и торцевого — при высоких точностях (это объясняется тем, что у пружинных головок отсутствует погрешность обратного хода), линейных размеров методом сравнения с мерой, а также измерения отклонений формы и расположения поверхностей.

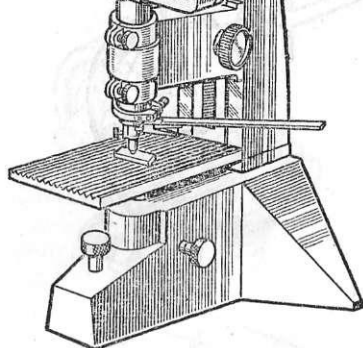


Рис. 4.22. Пружинно-оптическая головка — оптикатор в стойке С-I

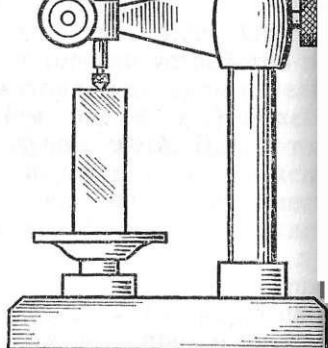


Рис. 4.23. Стойка С-III с круглым столиком

### § 4.8. Штативы и стойки

*Стойкой* называют установочное устройство, в которое закрепляются в вертикальном положении измерительная головка, а на столик укладывается измеряемая деталь.

Стойки с неподвижным столиком изготовляют типа С-III (рис. 4.23) с круглым столиком и типа С-IV (см. рис. 4.20) с широким прямоугольным столиком. Обе эти стойки имеют присоединительное отверстие  $\varnothing 8$  мм для гильз соответствующих головок.

Стойки с подвижным столиком имеют присоединительный размер  $\varnothing 28$  мм. Эти стойки изготовляют типа С-II (см. рис. 4.19, б) с круглой колонкой и круглым столиком и типа С-I (см. рис. 4.22), имеющие ребристую колонку с вертикальными направляющими, ребристый столик прямоугольной формы и основание повышенной жесткости. Измерительные головки с долемикронной ценой деления устанавливаются только в стойки С-I.

Применяют стойки для измерения размеров методом сравнения с мерой и отклонений формы поверхностей деталей машин и инструментов. После установки изме-

рительной головки на «0» по мере, стойку, как правило, не передвигают по столу или плите, на которых стоит стойка.

*Штативом* называют установочное устройство, в котором закрепляется измерительная головка, но не устанавливается измеряемая деталь. Штатив (рис. 4.24) имеет основание 1 с Т-образными пазами. На основании

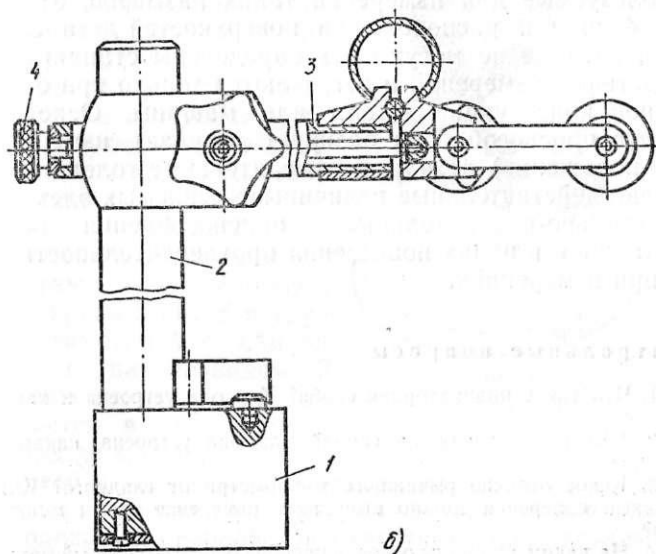
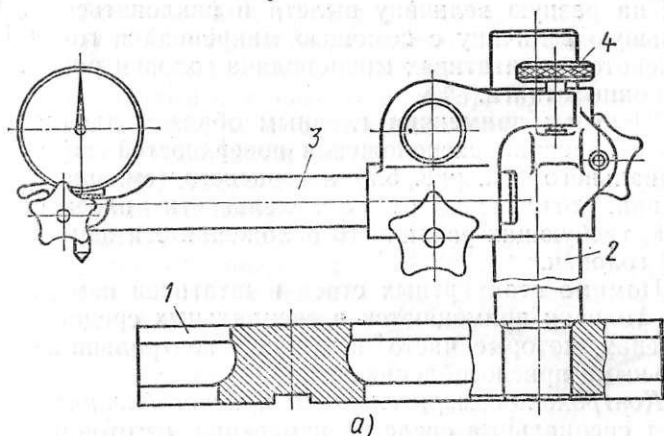


Рис. 4.24. Штатив:

а — с подвижным основанием, б — с магнитным основанием

стоит колонка 2, которая может переставляться в разные места и закрепляться в требуемом положении; на колонке расположен кронштейн 3, который может перемещаться по ней вверх — вниз и вращаться в любом направлении. Сквозь кронштейн проходит штанга с присоединительным отверстием для измерительной головки. Штанга может перемещаться в кронштейне вдоль своей оси на разную величину вылета и наклоняться на небольшую величину с помощью микроподачи головки 4. В некоторых штативах микроподача головки размещена на конце штанги.

Штативы применяют главным образом для измерений отклонений расположения поверхностей деталей — радиального (см. рис. 5.7) и торцевого (см. рис. 4.21) биений, отклонений от параллельности плоскостей и осей, требующих различного положения оси измерительной головки.

Помимо стандартных стоек и штативов измерительные головки применяются в специальных средствах измерения, которые часто называют контрольно-измерительными приспособлениями.

*Контрольно-измерительными приспособлениями* считают специальные средства измерения, изготавливаемые и используемые для измерения таких размеров, отклонений формы и расположения поверхностей деталей машин, которые не могут быть определены стандартными средствами измерений и встречаются только при определенной конструкции детали или машины. Основание-корпус приспособления базируется (придает измерительные положение) детали, а измерительные головки показывают действительные величины измеряемых элементов. Контрольно-измерительные приспособления создают также и в целях повышения производительности труда при измерениях.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое индикаторная скоба? Как она устроена и как применяется?
2. Что такое рычажная скоба? Как она устроена, какая цена деления?
3. Какое отличие рычажного микрометра от гладкого? Какими методами измерения можно выполнять измерение этими микрометрами?
4. На каком принципе основан преобразующе-отсчетный механизм пружинной измерительной головки? Какие типы этих головок вы знаете? Какие цены делений на них имеются? Что в этом особенного?

Б. Что такое штатив? Как он устроен? Для чего предназначен?

В. Что такое стойка, какие типы стоек изготавливают? Как применяют?

#### 4.9. Понятие о приборах с оптическим преобразованием

Для измерения линейных размеров из числа оптико-механических приборов наиболее распространены оптиметры. Так называют приборы, в конструкции которых преобразующее устройство основано на применении оптических и механических элементов.

**Вертикальный оптиметр** (рис. 4.25). Прибор напоминает стойку типа С-II с измерительной головкой, например с микрокатером, (см. рис. 4.19). Практически вертикальный оптиметр следует считать средством измерения, составленным из стойки типа С-II и оптико-механической отсчетной измерительной головки, ее обычно называют трубкой оптиметра.

Как видно из рис. 4.25, на вертикальном оптиметре можно измерять только наружные линейные размеры. Для измерения как наружных, так и внутренних размеров служит **горизонтальный оптиметр** (рис. 4.26). Этот прибор состоит из основания 1, вала 2, двух кронштейнов 3, пинולי 4 с переставным наконечником, стола предметного 5 и трубки оптиметра 6 с измерительным наконечником 7. Особенность стола 5 заключается в том, что его площадку можно с помощью рукояток ставить в любое необходимое положение при измерении так, чтобы величина измеренного размера детали не зависела от расположения опорной поверхности, которой деталь уложена на стол. Помимо этого горизонтальный оптиметр оснащен устройством для измерения внутренних линей-

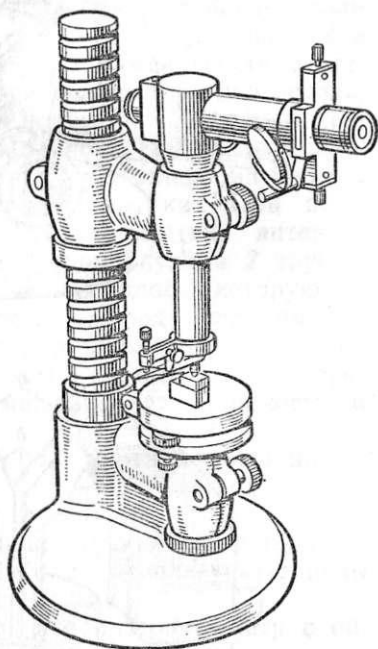


Рис. 4.25. Вертикальный оптиметр

ных размеров (рис. 4.26, б), состоящим из серег 8, подвешенных в дугах 9, в свою очередь, укрепленных одна на пиноли 4, а другая на трубке оптиметра 6.

Основные параметры оптиметров:  
 вертикальный оптиметр: цена деления—1 мкм; диапазон измерения наружных размеров от 0 до 180 мм;

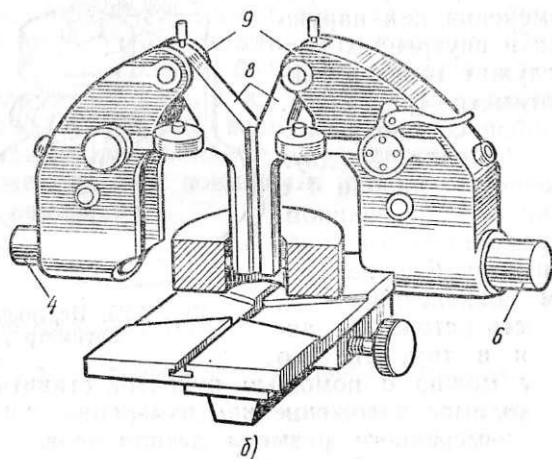
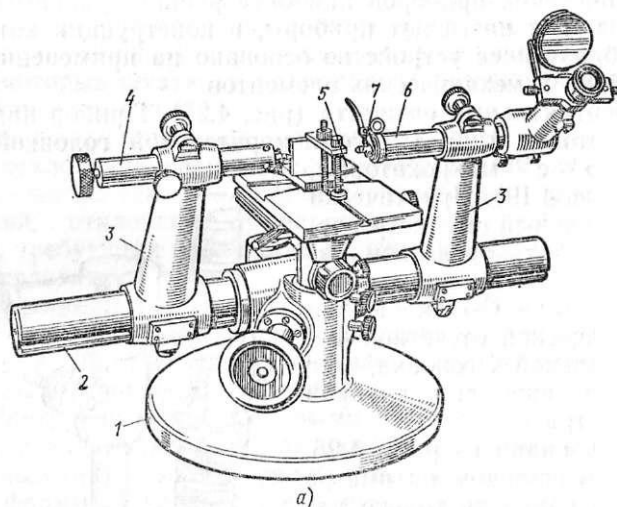


Рис. 4.26. Горизонтальный оптиметр:  
 а — общий вид, б — измерение внутренних размеров



горизонтальный оптиметр: цена деления—1 мкм; диапазон измерения наружных размеров от 0 до 500 мм, внутренних размеров от 13,5 до 400 мм.

Оптиметры применяют главным образом для измерения размеров и отклонений формы особо точных деталей машин и инструментов и поверки КМД 3-, 4- и 5-го классов точности.

**Интерферометр вертикальный** (рис. 4.27, а). Прибор состоит из отсчетной измерительной головки— трубки интерферометра и стойки типа С-1. Трубка интерферометра является одной из самых высокоточных измерительных головок, изготавливаемых для измерений линейных размеров в промышленности. В ней используется явление двухлучевой интерференции (сложение волн света). Свет идет от осветителя 3 через конденсор 4 в угловой корпус 5, в котором расположена система стекол. Пройдя через них, свет разделяется на два потока, волны которых складываются и образуют картину интерференции (рис. 4.27, б) — ряд разноцветных полос, напоминающих спектр. Одно из стекол укреплено на верхнем торце измерительного стержня трубки. При перемещении стержня со своим стеклом картина интерференции перемещается в поле зрения окуляра 2 трубки. В середине картины имеется черная полоса, которую используют как стрелку-указатель. Перед окуляром 2 в трубке расположена переставная шкала, состоящая из  $\pm 50$  делений с нулевым штрихом в середине. В поле зрения легко отсчитывать перемещения черной полосы по делениям шкалы.

Основные параметры вертикального интерферометра:

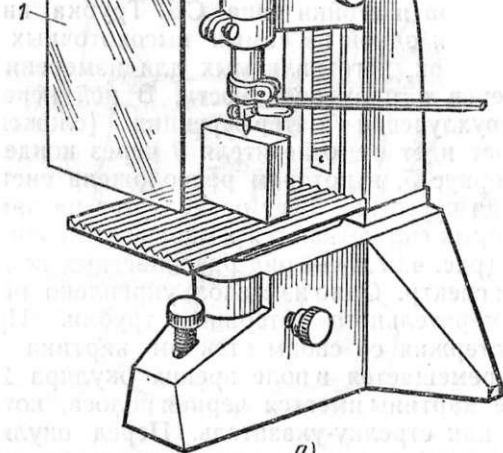
диапазон измерения от 0 до 150 мм;

значение цены деления шкалы можно настраивать на требуемую величину, но наиболее используемые цены деления 0,02 мкм; 0,05; 0,1 и 0,2 мкм.

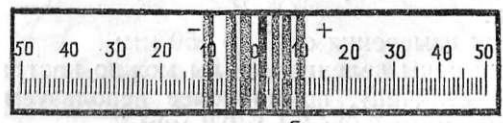
**Лазерный интерферометр.** Это интерферометр с оптическим квантовым генератором — *лазером*.

Лазер удобен тем, что он создает узконаправленные пучки лучей света большей мощности. Существуют лазеры разных видов — на твердом теле, газовые и жидкостные. В средствах измерения применяют газовые гелий-неоновые лазеры.

Преимуществом оптической схемы лазерного интерферометра является создание четырехкратного прохождения светового пучка в измерительном пути, что увеличи-



a)



б)

Рис. 4.27. Интерферометры:

a — контактный вертикальный (общий вид), б — картина интерференции на шкале, в — лазерный

чивает в два раза преобразование по сравнению с обычными интерферометрами.

Схема лазерного интерферометра, предназначенного для измерения линейных перемещений, показана на рис. 4.27, в. Лазерный измеритель 1, расположенный на крон-

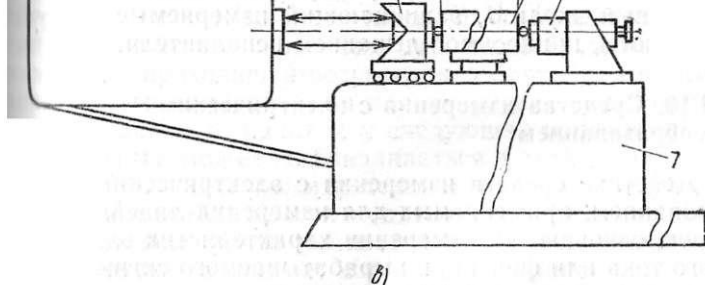


Рис. 4.27. Продолжение

штейне основания 7, посылает луч в трехгранную призму 4, прижатую к измеряемой детали 5. Луч, отраженный от призмы 4, возвращается в измеритель 1 и, преобразованный оптической схемой, приходит на табло цифровой индикации 3, где показание читает наблюдатель через окно 2. Это показание соответствует первому положению призмы 4. Затем убирают деталь 5 и трехгранную призму перемещают до упора 6. Теперь луч из измерителя 1 проходит втрое большее расстояние до трехгранной призмы 4 и по табло цифровой индикации 3 будет виден второй отсчет. Разность отсчетов и составит величину линейного перемещения призмы 4, а это и будет размером детали 5.

Основные параметры отечественного лазерного интерферометра ИПЛ-7:

Наибольшее измеряемое перемещение, м . . . . .	1
Наименьшая величина отсчета по табло цифрового индикатора, мкм . . . . .	0,1
Погрешность измерения, мкм . . . . .	$\pm 0,2$

Интерферометр применяют главным образом для измерения размеров и отклонений от плоскопараллельности концевых мер длины во время их изготовления и проверки. Детали машин и инструментов измеряют на интерферометрах в исключительных случаях, если сам допуск на размер детали имеет величину в пределах долей микрометра.

Особенностью применения интерферометров является

ся то, что в связи с особо высокой точностью измерения погрешности из-за температурных деформаций становятся наиболее ощутимы по сравнению с допусками на изготовление деталей и процесс измерения приходится выполнять в помещениях со строго соблюдаемой температурой 20 °С. На самом приборе установлен теплоизоляционный экран 1, защищающий измеряемые изделия от теплоты, приносимой дыханием исполнителя.

#### § 4.10. Средства измерения с электрическим преобразованием

Действие средств измерения с электрическим преобразованием, применяемых для измерения линейных размеров, основано на измерении характеристик электрического тока или фиксации вырабатываемого сигнала о состоянии размера измеряемой детали.

**Первичный электроконтактный преобразователь (датчик электроконтактный двухпредельный, рис. 4.28, а).** Такие датчики имеют измерительный стержень 2 с наконечником 1, движение которых передается рыча-

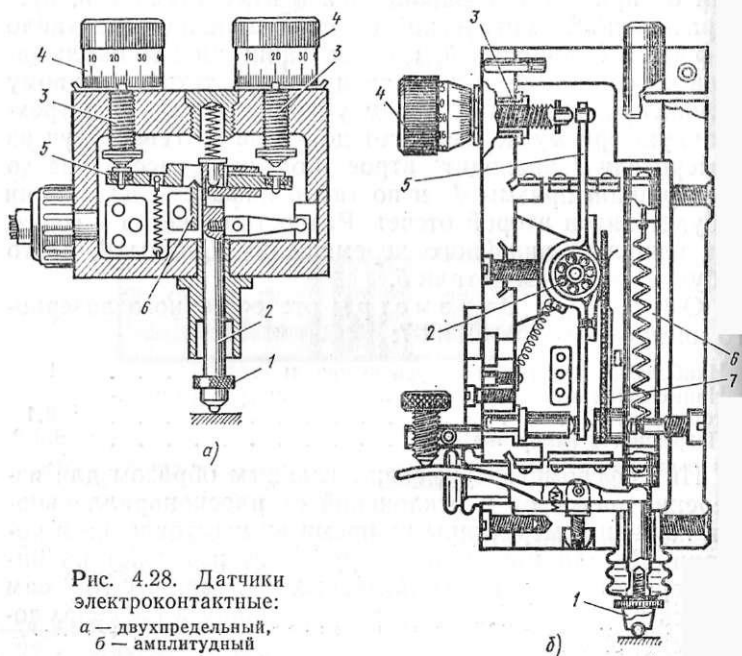


Рис. 4.28. Датчики электроконтактные:  
а — двухпредельный,  
б — амплитудный

ту 5 с двумя подвижными контактами. Рычаг качается на опоре 6. Над подвижными контактами размещены два переставных контакта 3 с микрометрическими барабанами 4 со шкалами, по которым отсчитывается величина выполненной перестановки. При перемещении стержня 2 в зависимости от размера измеряемой детали качается рычаг 5 и размыкание левого (от наблюдателя) контакта дает сигнал о наличии наименьшего предельного размера у проходящей под контактом детали, а замыкание правого контакта — сигнал о превышении наибольшего предельного размера у следующей измеряемой детали. Датчик может устанавливаться в стойке типа С-III или С-IV, а также в измерительном приспособлении.

Такой преобразователь (датчик) существенно отличается от всех ранее рассмотренных нами измерительных головок — в нем нет отсчетного устройства.

Он сортирует детали по размерам на три группы: годен, брак мал и брак велик.

Есть конструкции электроконтактных датчиков, в которых на корпусе закреплены отсчетные измерительные головки. Такие датчики объединяют свойства предельной и отсчетной головки.

Датчики электроконтактные двухпредельные применяются в устройствах для автоматизации измерений или контроля линейных размеров в массовом производстве машин или инструментов.

**Первичный электроконтактный преобразователь (датчик амплитудный, рис. 4.28, б).** В случаях, когда необходимо измерить годность детали по величине радиального биения поверхности, применяют амплитудный датчик. В этом датчике измерительный стержень 6 снабжен фрикционной пластиной 7 и наконечником 1. Пластина 7 плотно прижимается плоской пружиной к наружному кольцу подшипника 2. На этом кольце укреплен рычаг 5 с двумя подвижными контактами, он покачивается вместе с кольцом. Выше, в корпусе датчика, напротив верхнего подвижного контакта рычага, размещен переставной контакт 3 с барабаном микрометрическим 4 и шкалой. Если величина радиального биения детали будет больше допуска, то верхний подвижной контакт будет замыкаться, то размыкаться. Подключив к нему сигнальную лампу, увидим сигнал о негодности детали по радиальному биению.

**Средства измерения с индуктивными датчиками (рис. 4.29, а, б).**

Средство измерения с индуктивным датчиком называется электронной измерительной системой, состоящей из двух частей:

первичный индуктивный преобразователь (датчик рис. 4.29, а);

электронный блок с отсчетным устройством (рис. 4.29, б).

Индуктивный датчик имеет стержень измерительный 2 с якорем 3 и ряд катушек индуктивности 4. Индук-

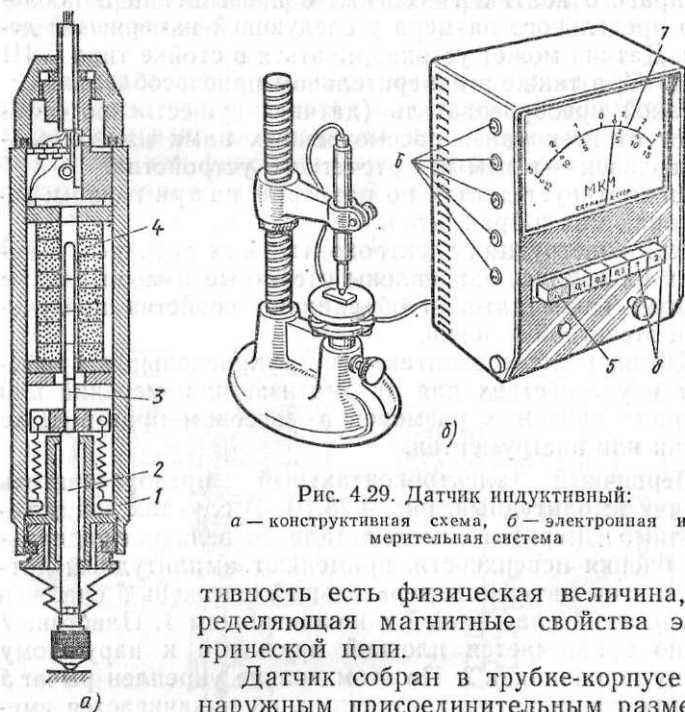


Рис. 4.29. Датчик индуктивный:  
а — конструктивная схема, б — электронная измерительная система

тивность есть физическая величина, определяющая магнитные свойства электрической цепи.

Датчик собран в трубке-корпусе 1 с наружным присоединительным размером  $\varnothing 8$  или 28 мм, в зависимости от диапазона показаний. Датчик может устанавливаться в стойке С-I (см. рис. 4.22) или С-III (см. рис. 4.23) в зависимости от цены деления шкалы отсчетного устройства и диаметра присоединительной трубки, как обычная измерительная головка.

Электронный блок имеет корпус, в котором смонтирована преобразующая группа, получающая сигналы от датчика и подающая их преобразованными в угловые повороты стрелки-указателя. Эти повороты отсчитыва-

ются по шкале 7 электронного блока. Особенность устройства здесь заключается в том, что блок имеет клавиши 5 и 8 для переключения цены деления на разные величины от долей мкм до целых мкм. Точность показаний регулируется на блоке винтами 6.

Основные параметры электронной измерительной системы: цена деления — 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 мкм; диапазон измерения (соответственно) —  $\pm 3$ ;  $\pm 6$ ;  $\pm 15$ ;  $\pm 30$ ;  $\pm 60$  мкм.

Применение электронной измерительной системы: измерение малых линейных перемещений, линейных размеров высокой точности изготовления методом сравнения с мерой, измерение отклонений формы поверхности или отклонений расположения поверхностей. Таким образом, система может применяться там же, где применяются измерительные головки, обладающие соответствующей ценой деления шкалы. Преимущество датчика: он может находиться на расстоянии от электронного блока со шкалой (в разных помещениях, внутри какого-либо агрегата, а блок на столе исполнителя), сигналы блока, кроме стрелки, могут использоваться электронным вычислительным или суммирующим устройством.

#### § 4.11. Средства измерения с пневматическим преобразованием

Действие средств измерения с пневматическим преобразованием, применяемых для измерения линейных размеров, основано на сравнении параметров потока сжатого воздуха, на пути которого ставят сначала образец, а затем измеряемую деталь (это тоже один из методов измерения сравнением с мерой).

Особенность этих средств измерения заключается в бесконтактном измерении.

**Длиномеры ротаметрические (ротаметры)** (рис. 4.30). Главной частью такого средства измерения является стеклянная трубка с коническим длинным отверстием и шкалой, наложенной снаружи на трубку 9. Внутри трубки размещен легкий поплавок (ротор) 8, по которому отсчитывают показания по шкале трубки.

Поток воздуха, пройдя фильтр 2, через стабилизатор давления 1, мембрану 5 входит снизу через шланг 4 в трубку 9 и увлекает вверх ротор-поплавок 8. Затем воздух проходит через тормозящие сопла-отверстия 7 и попадает в шланг, соединяющий трубку со специальным устройством — пневматическим калибром (рис. 4.30, в).

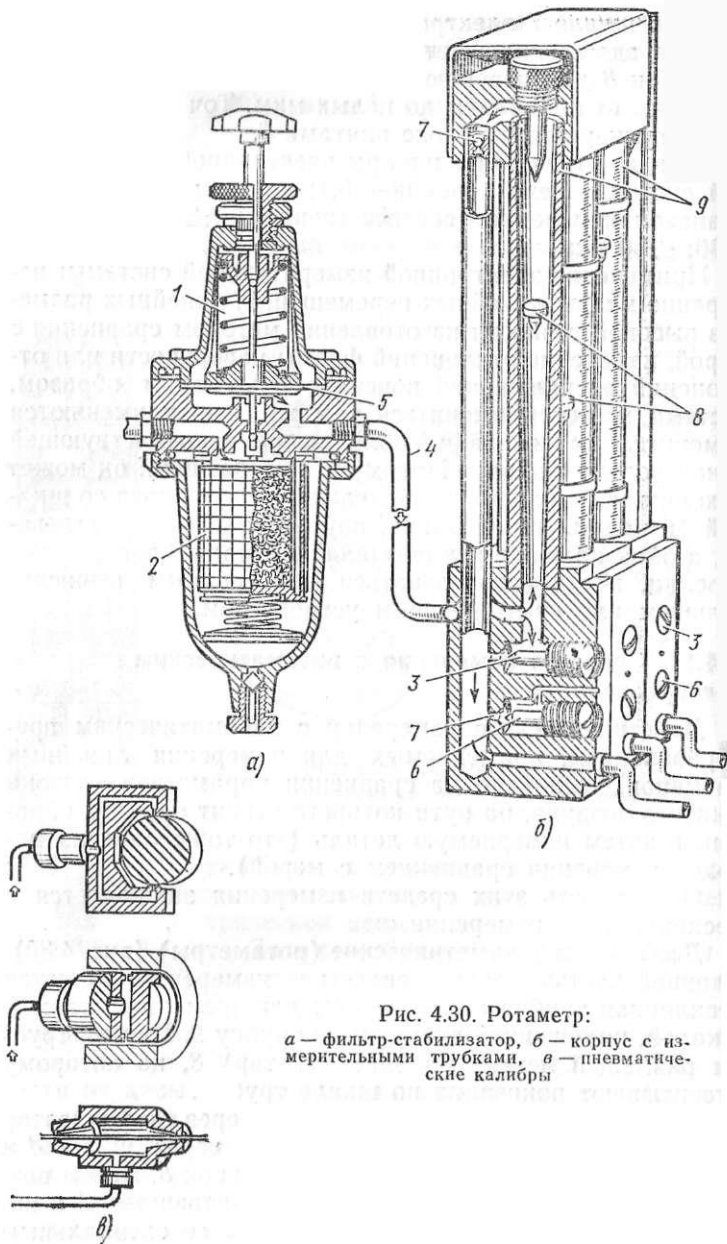


Рис. 4.30. Рогаметр:

*a* — фильтр-стабилизатор, *б* — корпус с измерительными трубками, *в* — пневматические калибры



Для измерения валов применяют пневматический калибр в форме скобы с соплами, а для измерений отверстий — пневматический калибр в форме пробки с соплами.

Пневматические длиномеры (ротаметры) изготавливаются и используются комплектами. В комплект входят блок фильтра 2 со стабилизатором 1; корпус с стеклянной трубкой 9, поплавком 8 и винтами регулировки 3 и 6; пневматический калибр.

Комплекты ротаметров могут соединяться в блоки из нескольких комплектов (до 10 в один блок). Это значит, что по блоку можно измерить одновременно до 10 деталей, причем каждая будет оцениваться по своей шкале и поплавку-ротору. На рис. 4.30 показан блок из трех комплектов со своими пневматическими калибрами. Один комплект измеряет валы, второй — отверстия, а третий — проволоку в процессе протягивания. По колебаниям высоты поплавка в трубке третьего комплекта можно судить об изменениях размера проволоки и вмешиваться в ход технологического процесса. Такое измерение третьим комплектом принято называть активным контролем, т. е. контролем, выполняемым в процессе обработки.

Основные параметры длиномеров пневматических (ротаметров):

интервал деления шкалы зависит от разности размеров образцов и от конусности отверстия трубки, изготавливают трубки с конусностью 1:1000 и 1:400;

шкалы градуируют с ценами делений: при конусности трубки 1:1000—0,1; 0,2; 0,5 мкм; а при конусности трубки 1:400—1,0, 2,0, 5,0 и 10,0 мкм.

Пневматические длиномеры используют широко в серийном и массовом производствах при значительных количествах деталей в партии или в потоке. Большое преимущество здесь в бесконтактном измерении и малом износе калибров. Удобно также то, что можно калибром работать на значительном удалении от стола, на котором расположен блок комплектов ротаметров, например, измерения при наладочных работах на станках-автоматах. При замене размеров изготавливаемых деталей достаточно заменить калибры, образцы или КМД и переставить указатели пределов допусков на трубках комплектов.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое оптиметр? Каков принцип действия преобразующего устройства? Где применяют оптиметры?

2. Что такое контактный интерферометр? Какой принцип преобразования, какие цены деления шкалы и какое применение этого средства измерения?

3. Что такое электроконтактный преобразователь (датчик)? Каковы его действие и применение?

4. Как работает индуктивный датчик в электрической измерительной системе?

5. Что такое ротаметр? Как работает коническая трубка с поплавком? Как устроены пневматические калибры? Каковы цены деления шкал ротаметров?

## § 4.12. Калибры гладкие

*Калибрами* называют жесткие средства контроля, применяемые для определения годности размеров элементов деталей машин. В зависимости от формы контролируемой поверхности калибры разделяют на гладкие — для контроля деталей гладких цилиндрических соединений, резьбовые — для контроля деталей резьбовых соединений (см. гл. 7), шлицевые — для контроля деталей шлицевых соединений (см. гл. 8), концевые гладкие — для контроля конусных соединений и специальные — для контроля годности деталей нестандартных соединений и отдельных деталей.

**Предельные гладкие калибры.** Предельными эти калибры называют потому, что ими контролируют годность наибольшего и наименьшего предельных размеров элемента детали. Калибры разделяют на проходной ПР и непроходной НЕ. Калибры для контроля отверстий называют *пробками*. Проходным калибром-пробкой ПР контролируют в отверстии годность наименьшего предельного размера  $D_{\min}$  (рис. 4.31). Этот размер годен, если пробка ПР прошла сквозь него. Непроходным ка-

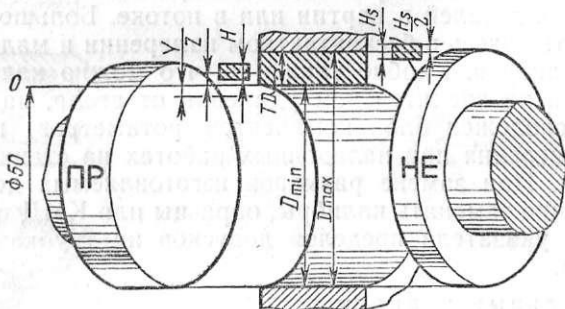


Рис. 4.31. Схема полей допусков гладких калибров-пробок

Калибром-пробкой НЕ контролируют в отверстии годность наибольшего предельного размера  $D_{\max}$ . Этот размер годен, если пробка НЕ не проходит в отверстие. Если пробка ПР прошла, а пробка НЕ не прошла через отверстие, то считают, что действительный размер отверстия находится в пределах поля допуска  $Td$  и это отверстие годно.

Калибры для контроля валов называют скобами (рис. 4.32). Проходным калибром-скобой ПР контроли-

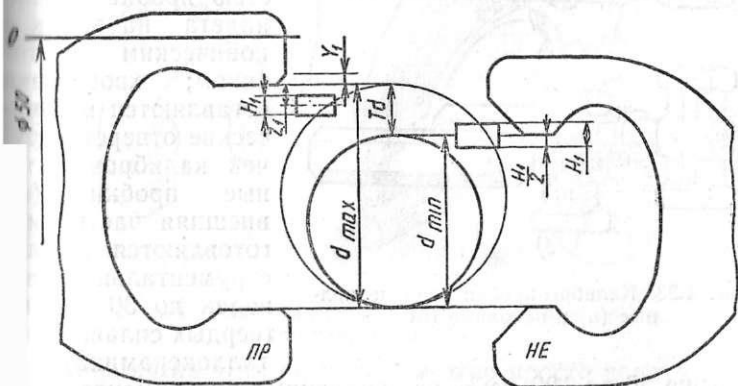


Рис. 4.32. Схема полей допусков гладких калибров-скоб

руют годность наибольшего предельного размера вала. Этот размер годен, если скоба ПР прошла через него. Непроходным калибром-скобой НЕ контролируют годность наименьшего предельного размера вала. Этот размер годен, если скоба НЕ не прошла через него. Если скоба ПР прошла, а скоба НЕ не прошла через вал, это значит, что действительный размер вала находится в пределах поля допуска  $Td$  и этот вал годен.

Когда калибры ПР не проходят, а калибры НЕ проходят через детали, размеры этих деталей находятся за пределами поля допуска и детали признаются браком.

Как видно из изложенного, при контроле калибрами не определяют числовые величины контролируемых размеров, а только устанавливают годность или негодность детали. Когда требуется определить действительный размер забракованной детали, его измеряют универсальными средствами измерения. Так поступают для того, чтобы найти причину брака, а также для того, чтобы ре-

шить, можно ли исправить забракованную деталь. Это делают всегда, когда калибр ПР не проходит, т. е. вал велик или отверстие мало и брак исправимый.

Для номинальных размеров до 50...80 мм калибры-пробки изготовляют полные калибры-пробки (рис. 4.33, а). Эти пробки представляют собой втулки с внешней

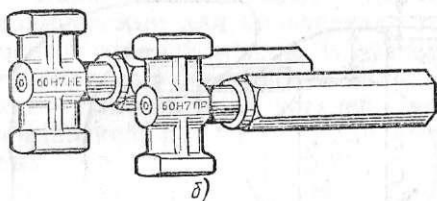
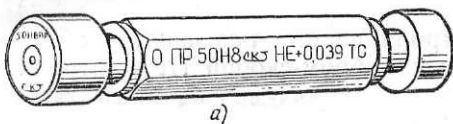


Рис. 4.33. Калибры-пробки гладкие полные (а) и неполные (б)

свыше 30 до 100 мм — из закаленных инструментальных сталей.

Для размеров свыше 100 мм изготовляют неполные калибры-пробки (рис. 4.33, б). Чаще всего полные пробки делают двусторонними, а неполные — односторонними.

Изготавливают также калибры-скобы жесткие листовые и регулируемые (рис. 4.34) с переставляемыми вставками, которые устанавливают на исполнительный размер по блокам КМД. На инструментальных заводах чаще всего изготавливают регулируемые скобы; корпус такой скобы отливают или штампуют, что значительно дешевле.

**Поля допусков гладких калибров.** ГОСТом на гладкие калибры установлены поля допусков и предельные отклонения, по которым подсчитываются исполнительные размеры для изготовления новых гладких калибров, а также допустимые выходы за пределы поля допуска при износе проходных калибров в процессе их эксплуатации (см. рис. 4.31 и 4.32). В ГОСТе и на рисунках для схем приняты следующие обозначения: *H* — допуск на изготовление калибра; *Z* — отклонение середины поля

точной рабочей поверхностью. Внутренней поверхностью пробка прочно надета на валик с коническим хвостовиком; хвостовики вставляются в конические отверстия ручек калибров. Полные пробки (их внешняя часть) изготовляются на инструментальных заводах до 30 мм из твердых сплавов (металлокерамика), а

допуска проходного калибра;  $Y$  — выход за границу по-  
ли допуска при износе проходного калибра.

Перечисленные отклонения отсчитываются не от но-  
минальных, а от предельных размеров контролируемых  
деталей (см. рис. 4.31 и 4.32). Пользуясь схемами, по-

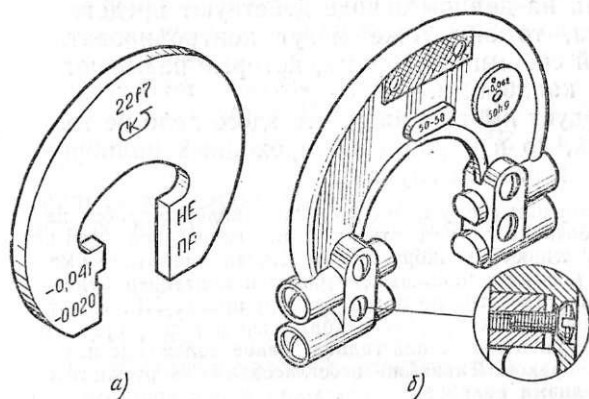


Рис. 4.34. Калибры-скобы гладкие листовые (а) и  
регулируемые (б)

мещенными на этих рисунках, можно просто понять, как  
подсчитываются исполнительные размеры гладких пре-  
дельных калибров.

Отклонения пробок отсчитываются от предельных  
размеров отверстия  $D_{\min}$  и  $D_{\max}$ , а отклонения скоб — от  
предельных размеров вала  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$ .

Пробка ПР новая: наибольший размер  $= D_{\min} + Z + \frac{H}{2}$ ; наи-  
меньший размер  $= D_{\min} + Z - \frac{H}{2}$ .

Пробка ПР изношенная  $= D_{\min} - Y$ .

Скоба ПР новая: наибольший размер  $= d_{\max} - Z_1 + \frac{H_1}{2}$ ; наи-  
меньший размер  $= d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2}$ .

Скоба ПР изношенная  $= d_{\max} + Y_1$ .

Пробка НЕ: наибольший размер  $= d_{\max} + \frac{H}{2}$ ;  
наименьший размер  $= D_{\max} - \frac{H}{2}$ .

Скоба НЕ: наибольший размер  $= d_{\min} + \frac{H_1}{2}$ ;  
наименьший размер  $= d_{\min} - \frac{H_1}{2}$ .

Прежде всего калибры используются рабочим-изготовителем для контроля годности изготовленных деталей — они называются рабочими калибрами. Когда партия изготовленных деталей сдана на контроль ОТК, их размеры контролируются такими калибрами.

Если на данном заводе действуют представители заказчика, то они тоже могут контролировать годности деталей своими калибрами, которые называют приемными калибрами.

Следует иметь в виду, что здесь дело не только в названиях, но и в размерах проходных калибров, применяемых в разных случаях.

Рассмотрим схему полей допусков калибров-пробок на рис. 4.31. Если рабочий изготовит отверстие по изношенной (близкой к предельному износу) калибру-пробке ПР, то оно будет иметь размер, близкий к своему наименьшему, и если контролер будет контролировать это отверстие по новой калибру-пробке ПР, то эта пробка в такое отверстие не пройдет и контролер деталь забракует. Но ведь по пробке рабочего деталь годная! Такое положение называют формальным браком. Такая же несогласованность результатов контроля проходными калибрами происходит и при контроле скобами ПР (см. рис. 4.32), если у рабочего окажется скоба ПР, близкая к изношенному размеру, а у контролера новая.

Для того чтобы не было такой несогласованности в контроле, рабочему следует выдавать новые калибры ПР, а контролеру и приемщику — близкие к границе износа У.

Выполненный нами анализ приводит к выводу, что размеры проходных калибров пробок и скоб следует периодически измерять во время эксплуатации. В то же время такой периодический контроль позволит вовремя изъять из применения калибры, полностью изношенные.

**Измерение калибров.** Калибры-пробки измеряют рычажными микрометрами (при небольших количествах калибров одинакового размера), рычажными скобами, рычажно-зубчатыми головками ИГ или микрокаторами в стойках С-II, а также с помощью оптиметров. Калибры-скобы обычно измеряют на горизонтальных оптиметрах сравнением с блоками КМД. Однако у этого метода есть существенное противоречие с действием калибры-скобы на валу во время контроля. Дело в том, что при прохождении через вал скоба, опускаясь под действием собственного веса, испытывает значительное распирающее усилие, так как действие вала в этот момент подобно действию клина и это усилие существенно больше, чем измерительное усилие от наконечников горизонтального оптиметра.

Это противоречие тем больше, чем больше номинальный размер контролируемого вала. Это обстоятельство,

а также то, что иногда в распоряжении измеряющих не оказывается горизонтального оптиметра, привело к тому, что для контроля калибров-скоб предусмотрены ГОСТом и изготавливаются контрольные калибры (их называют еще контракалибры), имеющие форму узких валов-шайб. Допуски на изготовление контрольных калибров, разумеется, меньше, чем на изготовление калибров-скоб. ГОСТом установлены поля допусков на следующие контрольные калибры-шайбы: для контроля калибраскобы ПР — контракалибр К-ПР и контракалибр К-И (для контроля износа); для контроля скобы НЕ — контракалибр К-НЕ.

**Маркировка калибров.** На калибры гладкие наносят маркировку, в которой указывают параметры контролируемых деталей: номинальный размер, обозначение поля допуска и предельные отклонения, а также условные обозначения калибров. Маркировку наносят на калибры и на ручки, в которых укреплены калибры. Например, на калибры для контроля деталей, соединяемых с посадкой  $50 \frac{H8}{f8}$ , наносят маркировку:

на калибре-пробке ПР — «50H8ПР», на калибре-пробке НЕ — «50H8НЕ», на ручке со стороны пробки ПР — «0» и «ПР», в середине ручки — «50H8», со стороны пробки НЕ — «НЕ» и «+0,039»;

на калибре-скобе — около проходной стороны «ПР» и «0», около непроходной стороны — НЕ» и «-0,039».

#### Контрольные вопросы

1. Что такое калибры? Какие калибры называются предельными?
2. Перечислите виды гладких калибров для контроля отверстий и для контроля валов и признаки годности деталей.
3. Какие изготавливают конструкции гладких калибров-пробок и калибров-скоб?
4. Опишите маркировку гладких калибров.
5. Расскажите о построении полей допусков гладких калибров.

#### § 4.13. Понятие об активном контроле

*Активным контролем* называют контроль годности размеров деталей, выполняемый во время их обработки на станках с одновременным воздействием на работу станков по данным этого контроля.

Средствами активного контроля называются измерительные устройства, которые измеряют размер обрабатываемого элемента детали во время его обработки и

выдают сигнал о получении годного размера. Этот сигнал может быть выдан в виде показания стрелки на шкале или в виде числа на панели цифровой индикации, или в форме электрической команды (замыкания или размыкания контакта).

Простейшим средством измерения для активного контроля является **трехконтактная скоба** (рис. 4.35), применяемая для активного контроля размера при изготовлении цилиндрических деталей чистовым точением или круглым шлифованием.

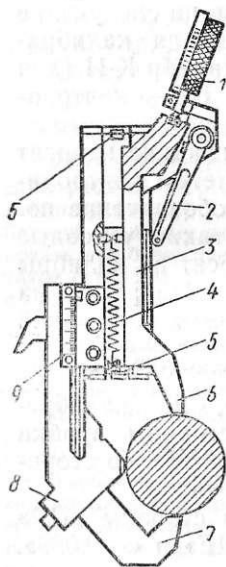


Рис. 4.35. Скоба трехконтактная навесная

Трехконтактная скоба подвешивается кронштейном 2 к станку. Скоба имеет три наконечника: нижний неподвижный 7, боковой переставной наконечник-упор 8 и верхний подвижной измерительный наконечник 6, укрепленный на измерительном стержне 3. Измерительный стержень 3 подвешен на плоских пружинах 5 к переставной каретке 9, передвигающейся с помощью пружины 4. Перемещения стержня 3 передаются отсчетной головке 1, измерительный наконечник которой соприкасается с верхним упором стержня 3.

Во время обработки наконечник 6 скользит по обработанной поверхности элемента, воспринимает все изменения размера и передает их отсчетной головке. Исполнитель (токарь или шлифовщик) видит, какой размер сейчас имеет деталь, сколько осталось до заданного размера или уже сейчас размер находится в пределах поля допуска, и знает, продолжать ли ему обработку или нет.

Таким образом, трехконтактная скоба осуществляет активный контроль, т. е. она во время обработки измеряет размер, и когда он годен, подает сигнал об окончании обработки.

Современным средством измерения с цифровой индикацией размера, полученного в процессе обработки, является устройство, устанавливаемое на токарных станках завода «Красный пролетарий» (рис. 4.36). Оно состоит из индуктивного датчика, вмонтированного в поперечный суппорт, и блока индикации, установленного



перед токарем на станине. Датчик подает сигналы о величине перемещения поперечного суппорта, и эти сигналы видны на панели цифровой индикации 2.

Блок индикации снабжен клавишей 1 со знаками «+» (плюс) и «—» (минус). При обточке вала клавишу нажимают до появления знака «—», а при расточке отверстия — до появления знака «+».

Если такое устройство устанавливают на станке с ЧПУ, то сигналы датчика, кроме блока индикации, по-

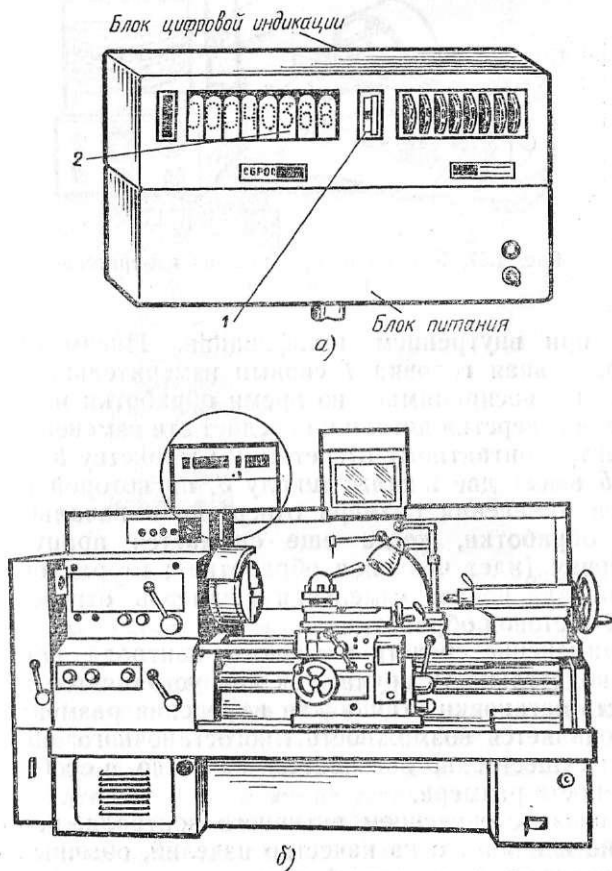


Рис. 4.36. Устройство с цифровой индикацией к токарному станку:

а — блок цифровой индикации, б — вид блока на токарном станке

даются в контрольно-командную группу программного управления, которая выключает станок при готовности размера, т. е. это устройство становится наладочным и командно-управляющим средством измерения.

Распространенным средством измерения для активного контроля являются **командно-управляющие приборы (КУ)**. На рис. 4.37 показан прибор КУ, действующий

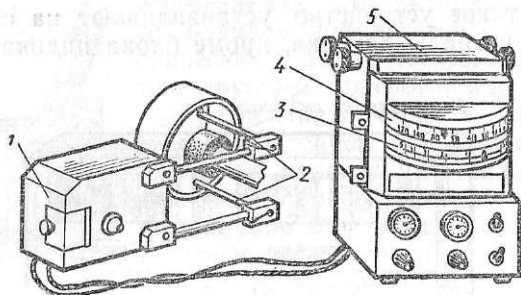


Рис. 4.37. Командно-управляющий измерительный прибор

щий при внутреннем шлифовании. Пневматическая измерительная головка **1** своими измерительными контактами **2** воспринимает во время обработки изменения размера отверстия детали и передает эти изменения пневмоэлектроконтактному отсчетному устройству **5**. Устройство **5** имеет две шкалы: шкалу **3**, на которой показываются изменения размера отверстия в начальный период обработки, когда еще снимается припуск под шлифовку (идет черновая обработка); вторая шкала **4** служит для показа изменения размеров отверстия во время чистовой обработки.

Применение средств активного контроля повышает производительность труда, так как устраняется необходимость остановки станка для измерения размера детали; появляется возможность многостаночного обслуживания; существенно повышается качество, в особенности по точности размера.

В связи с введением активного контроля, непосредственно влияющего на качество изделий, обычный контроль годности, проводимый после окончания обработки, стали все чаще называть *пассивным контролем*, так как он только фиксирует полученный результат — годна или негодна деталь.

Средства активного контроля применяются главным образом в массовом или серийном производстве, однако опыт показал, что и при небольших партиях деталей (10 шт.) и допусках от 0,003 до 0,010 мм эти средства себя оправдывают.

**Понятие об автоматических средствах контроля.** В массовом производстве иногда создается необходимость измерять размер каждой изготовленной детали. Для такого измерения, требующего значительной затра-

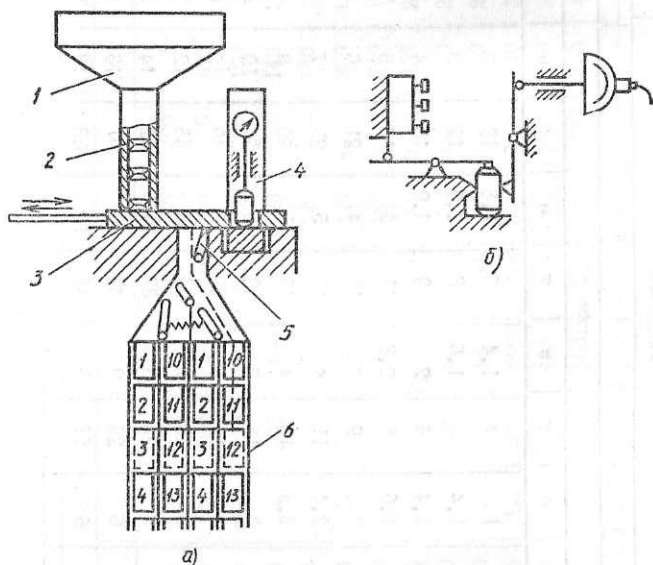


Рис. 4.38. Схема контрольного автомата для контроля и сортировки роликов:

а — схема действия, б — схема измерительной позиции и датчиков

ты времени, применяют контрольные автоматы — средства измерения, выполняющие весь процесс измерения автоматически, т. е. без участия человека.

Контрольный автомат состоит, как правило, из ряда последовательно действующих устройств (рис. 4.38, а, б): загрузчика 1, 2, транспортера 3, измерительной позиции 4, исполнительной заслонки 5 и магазина-накопителя 6. Действие всех этих устройств происходит по сигналам единого электрического командного аппарата.

На рис. 4.38, а показана схема контрольного автомата, который контролирует не только годность роликов по

7. Допускаемые погрешности измерений  $\delta$ , в зависимости от допусков размеров  $T$

Номиналь- ные раз- меры, мм	Квалитеты													
	2		3		4		5		6		7		8	
	$T$	$\sigma$	$T$	$\sigma$	$T$	$\sigma$	$T$	$\sigma$	$T$	$\sigma$	$T$	$\sigma$	$T$	$\sigma$
До 3	1,2	0,4	2,0	0,8	3	1	4	1,4	6	1,8	10	3	14	3
св. 3 до 6	1,5	0,6	2,5	1,0	4	1,4	5	1,6	8	2,0	12	3	18	4
»6»10	1,5	0,6	2,5	1,0	4	1,4	6	2	9	2,0	15	4	22	5
»10»18	2,0	0,8	3,0	1,2	5	1,6	8	2,8	11	3	18	5	27	7
»18»30	2,5	1,0	4,0	1,4	6	2	9	3	13	4	21	6	33	8
»30»50	2,5	1,0	4,0	1,4	7	2,4	11	4	16	5	25	7	39	10
»50»80	3,0	1,2	5,0	1,8	8	2,8	13	4	19	5	30	9	46	12
»80»120	4,0	1,6	6,0	2,0	10	3	15	5	22	6	35	10	54	12
»120»180	5,0	2,0	8,0	2,8	12	4	18	6	25	7	40	12	63	16
»180»250	7,0	2,8	10,0	4,0	14	5	20	7	29	8	46	12	72	18
»250»315	8,0	3,0	12,0	4,0	16	5	23	8	32	10	52	14	81	20
»315»400	9,0	3,0	13,0	5,0	18	6	25	9	35	10	57	16	89	24
»400»500	10,0	4,0	15,0	5,0	20	6	27	9	40	12	63	18	97	26

$$\frac{\sigma}{T} \% \dots 35$$

35      35      35      30      30      25

## Квалитеты

Номиналь- ные раз- меры, мм	Квалитеты															
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ	T	σ
До 3	40	8	60	12	100	20	140	30	250	50	400	80	600	120	1000	1000
св. 3 до 6	48	10	75	16	120	30	180	40	300	60	480	100	750	160	1200	1200
»6»10	58	12	90	18	150	30	220	50	360	80	580	120	900	200	1500	1500
»10»18	70	14	110	30	180	40	270	60	430	90	700	140	1100	240	1800	1800
»18»30	84	18	130	30	210	50	330	70	520	120	840	180	1300	280	2100	2100
»30»50	100	20	160	40	250	50	390	80	620	140	1000	200	1600	320	2500	2500
»50»80	120	30	190	40	300	60	460	100	740	160	1200	240	1900	400	3000	3000
»80»120	140	30	220	50	350	70	540	120	870	180	1400	280	2200	440	3500	3500
»120»180	160	40	250	50	400	80	630	140	1000	200	1600	320	2500	500	4000	4000
»180»250	185	40	290	60	460	100	720	160	1150	240	1850	380	2900	600	4600	4600
»250»315	210	50	320	70	520	120	810	180	1300	260	2100	440	3200	700	5200	5200
»315»400	230	50	360	80	570	120	890	180	1400	280	2300	460	3600	800	5700	5700
»400»500	250	50	400	80	630	140	970	200	1550	320	2500	500	4000	800	6300	6300

$$\frac{\sigma}{T} \%$$

20

20

20

20

20

20

20

20

20

141

8. Предельные погрешности измерения, мкм, наружных размеров и биения универсальными измерительными средствами

Средства измерения	Класс мер	Ход стержня, мм	Номинальный размер, мм											
			1-6	6-10	10-18	18-50	50-80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500		
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,1 мм	—	—	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	250
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,05 мм	—	—	100											
Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм при измерении размера	5	10	20	20	20	20	20	20	20	25	30	30	30	40
	3	1	10											
Индикаторы часового типа с ценой делений 0,01 мм при измерении биения	3	0,1	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	—	10	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20
		0,1	10											







их длине и диаметру, но и сортирует их по действительным размерам диаметра на несколько мелких групп. На рис. 4.38, б выделена схема измерительной позиции 4, где показано, что с помощью откидных рычагов размер ролика передается наконечникам датчиков. Длина ролика контролируется двухпредельным датчиком-преобразователем, сортирующим все ролики на три группы: годен, велик, мал.

#### § 4.14. Выбор средств измерения

При выборе средства измерения детали необходимо учитывать следующие факторы:

величину допуска на изготовление измеряемого размера;

номинальный размер;

допускаемую погрешность измерения этого размера;

общий контур детали;

способ производства при изготовлении данной детали;

предельную (полную) погрешность измерения.

Для оценки пригодности выбираемого средства измерения сопоставляют величину допускаемой погрешности измерения контролируемого размера, определенную по табл. 7, с предельной величиной погрешности измерения этим средством, установленной по табл. 8 и 9.

Если предельная погрешность измерения выбранным средством не превышает допускаемой погрешности измерения при оценке годности измеряемого размера, то данное средство можно применить для измерения.

Порядок действия при выборе средства измерения для линейных размеров:

1. Определяют по чертежу детали номинальный размер, величины предельных отклонений измеряемого элемента детали. Подсчитывают величину допуска размера в мкм.

2. Находят величину допускаемой погрешности измерения детали (табл. 7) по величине допуска и номинальному размеру.

3. Выбирают средство измерения по таблицам предельных погрешностей измерения (по табл. 8 для наружных размеров и по табл. 9 для внутренних размеров) и записывают его наименование, диапазон измерения, цену деления шкалы и величину предельной погрешности измерения этим средством.

4. Сопоставляют величины предельной и допускаемой

9. Пределные погрешности измерения  $\Delta$ , мкм, внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами

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

погрешностей измерения и решают вопрос о пригодности выбранного средства измерения в данных условиях производства.

**Упражнение.** Выбрать средство для измерения в условиях серийного производства диаметра ступени вала  $\varnothing 50h11$ .

1. Задано, что измеряемый элемент детали вал имеет наружный размер  $\varnothing 50$  мм, поле допуска  $h11$ , по табл. 3 определяем предельные отклонения: верхнее — 0, нижнее — 0,160 мм. Величина допуска  $T = 160$  мкм.

2. Определяем величину допускаемой погрешности измерения: по табл. 7 находим графу интервала номинальных размеров  $30 \div +50$  мм и графу 11-го качества. На пересечении находим для допуска 160 мкм допускаемую погрешность измерения, равную 40 мкм.

3. В табл. 8 указаны предельные погрешности измерения наружных линейных размеров. Подбираем по этой таблице средство, имеющее диапазон измерения, включающий номинальный размер  $\varnothing 50$  мм и имеющее предельную погрешность измерения, близкую к 40 мкм, т. е. к допускаемой погрешности измерения нашей ступени вала. Находим скобу индикаторную для размеров от 0 до 50 мм, цена деления 0,01 мм, предельная погрешность измерения 15 мкм. Это средство измерения нам подходит и по погрешности измерения, и по производительности.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое активный контроль?
2. Опишите трехконтактную подвесную скобу и ее действие и преимущество.
3. Что такое командно-управляющие приборы типа КУ? Каковы его особенности?
4. Что такое контрольные автоматы? Каково их применение?
5. Перечислите факторы, которые необходимо учитывать при выборе средств измерения. Что такое допускаемая погрешность измерения?
6. Расскажите порядок действий при выборе средств измерения линейных размеров.

## ГЛАВА 5. ДОПУСКИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

### § 5.1. Погрешности поверхностей деталей машин

Отклонения поверхностей деталей возникают в процессе обработки из-за неточности и деформации станка, неточности и износа режущего инструмента, неточности зажимных приспособлений, деформации заготовки во время обработки, неравномерности величины припуска на обработку, неравномерности твердости материала заготовки по ее длине и т. д.

Эти отклонения поверхностей детали в итоге влияют на характер соединения, так как само соединение может оказаться разным в разных местах поверхностей, что

влияет и на работу машины, и на износ детали в процессе эксплуатации. Поэтому конструктор обязан в чертеже назначать не только точность изготовления размера, но и точность обработки сопрягаемых поверхностей деталей.

К отклонениям поверхности деталей относят:

отклонения формы поверхности;

отклонения расположения данной поверхности относительно других;

величина шероховатости окончательно обработанной поверхности элемента детали.

Требования к форме, расположению и шероховатости поверхностей деталей стандартизованы и на них разработаны ГОСТы.

Стандарты содержат термины и нормы требований главным образом к цилиндрическим деталям, деталям с плоскими поверхностями и корпусным деталям. Ознакомимся с терминами.

*Номинальная форма поверхности* — это поверхность, форма которой задана по чертежу или в другом техническом документе.

*Реальная поверхность* — поверхность, полученная при обработке детали.

*Профиль поверхности* — это линия пересечения поверхности с плоскостью, перпендикулярной ей или параллельной ее оси. Очевидно, что профиль может быть номинальным (при сечении номинальной поверхности) и реальным (при сечении реальной поверхности).

*Отклонение формы* — это отклонение реальной формы поверхности, полученной при обработке, от номинальной формы поверхности.

*Допуск формы* — это наибольшее допускаемое значение отклонения формы.

*Отклонение профиля* — отклонение реального профиля от номинального.

*Прилегающая поверхность* — это поверхность, имеющая форму номинальной поверхности и соприкасающаяся с реальной поверхностью. Частными примерами прилегающих поверхностей могут служить прилегающие цилиндры. Для вала прилегающий цилиндр — это цилиндр максимального диаметра, описанный вокруг реальной обработанной наружной поверхности. Для отверстия прилегающий цилиндр — это цилиндр наибольшего диаметра, вписанный в реальную внутреннюю поверхность.

## § 5.2. Допуски и отклонения формы поверхностей. Средства их измерения

Различают два вида требований к форме поверхности:

1. Требование к форме поверхности на чертеже отдельно не указано. В этом случае следует считать, что все дефекты формы поверхности по своей величине не должны превышать величины допуска на изготовление размера данного элемента детали.

2. Требование к форме поверхности указано на чертеже специальным знаком. Это значит, что форму по-



Рис. 5.1. Отклонение от цилиндричности

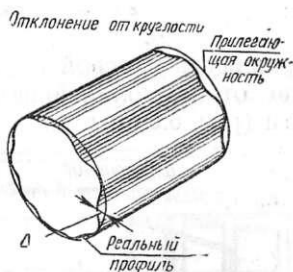


Рис. 5.2. Отклонение от круглости

верхности данного элемента требуется выполнить точнее, чем его размер, и величина отклонения формы будет меньше, чем величина допуска на изготовление размера данного элемента детали.

Требования к форме поверхности разделяются на комплексные и частые. *Комплексные требования* — это требования к поверхности, обобщающие в совокупности все дефекты формы поверхности. Например, для поверхности цилиндрического элемента — это отклонение всей поверхности от цилиндричности (рис. 5.1) или отклонение ее же от круглости (рис. 5.2).

*Частные требования* — это отклонения, имеющие конкретную геометрическую форму. Например, для того же элемента — овальность (рис. 5.3, а) или бочкообразность (рис. 5.3, б).

**Отклонения формы поверхности от прямолинейности в плоскости.** Отклонение от прямолинейности в плоскости есть наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля поверхности до прилегающей прямой. Это комплексное отклонение. К числу таких отклонений относят

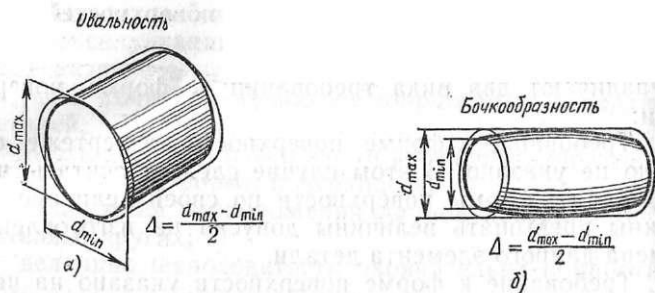


Рис. 5.3. Частные отклонения:  
а — овальность, б — бочкообразность

погрешность плоской поверхности (рис. 5.4, а, б), отклонение от прямолинейности оси цилиндрической поверхности (рис. 5.5) и т. п.

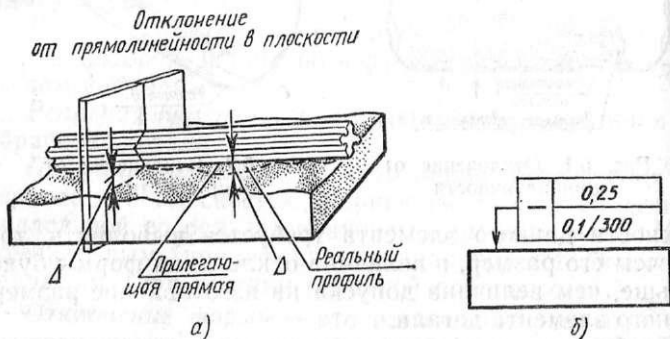


Рис. 5.4. Отклонение от прямолинейности в плоскости:  
а — призматической детали, б — обозначение по чертежу

В ГОСТ 24643—81 установлено 16 степеней точности прямолинейности и плоскостности.

Частными видами отклонений от прямолинейности плоских поверхностей считают *выпуклость* и *вогнутость*.

**Средства измерения отклонений от прямолинейности.** В машиностроении для измерения отклонений от прямолинейности в плоскости для широких поверхностей при степенях точности от 1-й до 4-й с длинами до 500 мм применяются *лекальные линейки* типов ЛД, ЛТ и ЛЧ (рис. 5.6, а): ЛД — это лекальные линейки с двойным скосом, ЛТ — лекальные линейки с тремя гранями, ЛЧ — четырехгранные лекальные линейки.

Измерение отклонений от прямолинейности лекальными линейками производится «на просвет». Такое измерение требует навыка от исполнителя. Для выработки навыка оценивать на глаз по величине просвета величину отклонения от прямолинейности применяют образец просвета (рис. 5.6, б).

При измерении отклонений от прямолинейности в плоскости для узких поверхностей или образующих тел вращения применяют *поверочные линейки* с широкой рабочей поверхностью. К таким линейкам относятся ли-

Отклонение  
от прямолинейности оси

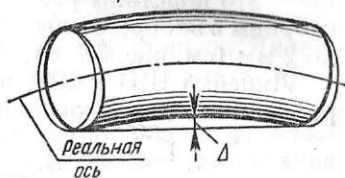


Рис. 5.5. Отклонение от прямолинейности оси

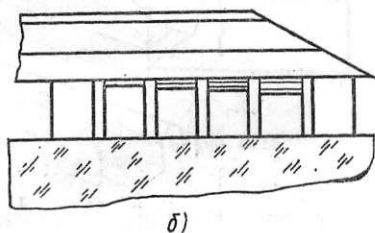
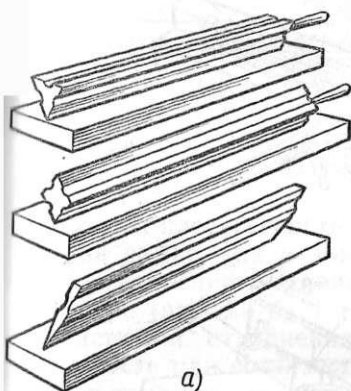


Рис. 5.6. Лекальные линейки:

а — ЛТ — трехгранная, ЛЧ — четырехгранная, ЛД — с двойным скосом,  
б — образец просветов

нейки типов ШП, ШД, ШМ и УТ. ШП — это линейка прямоугольного сечения (рис. 5.7, а), ШД — линейка с двутавровым профилем (рис. 5.7, б), ШМ — линейка, по внешнему виду похожая на ферму моста (рис. 5.7, в), УТ — угловая трехгранная линейка (рис. 5.7, г).

Все эти линейки изготовляют, как правило, из серого чугуна. В последнее время линейки ШП стали выпускать из твердых каменных пород.

Измерение отклонений этими линейками выполняют методом числовых величин и методом «на краску».

Первым методом — линейкой ШП с помощью индикаторной головки и с наконечником 2, оснащенной индикатором часового типа 3, и блоков КМД 1 (см.

рис. 5.7, а), или линейкой ШД с помощью щупов. Щупы — это пластины разной толщины, которые могут быть собраны в набор; щупы изготавливаются размерами от 0,02 до 2 мм (см. рис. 5.7, б).

Линейки ШП и ШД имеют рабочие поверхности, обработанные доводкой или шлифованные тонким шлифо-

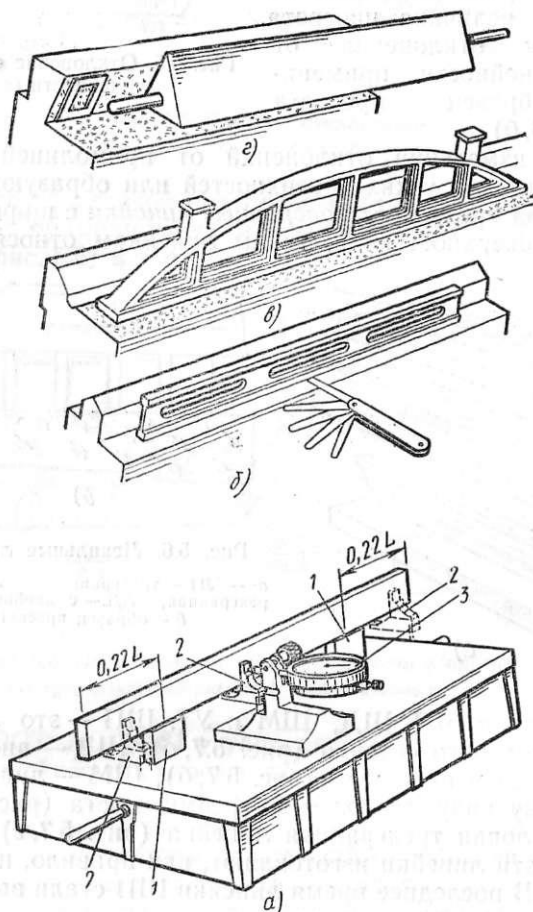


Рис. 5.7. Линейки с широкой измерительной поверхностью:

а — ШП в положении измерения отклонения от плоскости поверочной плиты в линейных величинах, б — ШД и набор щупов, в — ШМ-мостик, г — линейка угловая трехгранная УТ и рамка для подсчета пятен краски



ванием с точностью поверхности 3—4-й степени. Вторым методом — линейками ШМ или УТ. Эти линейки имеют рабочие поверхности, как правило, обработанные шабрением с точностью поверхности 3—4-й степени. Линейки ШМ изготовляют длиной от 400 до 4000 мм, а УТ — длиной от 400 до 1600 мм.

**Отклонения от плоскостности.** Отклонением от плоскостности в комплексе считают наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (рис. 5.8, а).

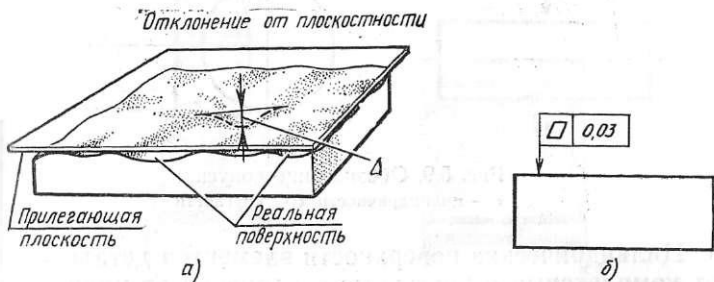


Рис. 5.8. Отклонение от прилегающей плоскости (а) и обозначение допуска плоскостности (б)

Допуск плоскостности указывается на чертежах в такой же рамке, как и допуск прямолинейности, но знак вида отклонения применяется другой, в виде параллелограмма (рис. 5.8, б).

Частными отклонениями от плоскостности считают *выпуклость* или *вогнутость*. Около знака часто располагают и ограничение величины допустимого частного отклонения. Например, «вогнутость не допускается» — так часто указывают условие для направляющих станин металлорежущих станков.

Метод «на краску» применяют для определения отклонений от плоскостности шабрённых поверхностей. Для этого применяют *поверочные плиты* (см. рис. 5.7). Эти плиты изготовляют из серого чугуна или из камня твердых пород (гранит габбро и др.). Размеры плит — от 250×250 до 1600×400 мм. Рабочие поверхности поверочных плит шабруют, добиваясь плоскостности повышенной точности по степеням 3 и 4.

Принято считать, что при измерении плоскостности методом «на краску» поверхность поверочной плиты при контакте с измеряемой реальной поверхностью элемента

детали занимает положение, наиболее близкое к номинальному положению прилегающей поверхности.

**Отклонение формы цилиндрических поверхностей.** Отклонением от цилиндричности считают наибольшее отклонение  $\Delta$  от точек реальной поверхности до поверхности прилегающего цилиндра (см. рис. 5.1). На него назначается допуск цилиндричности (рис. 5.9, а).

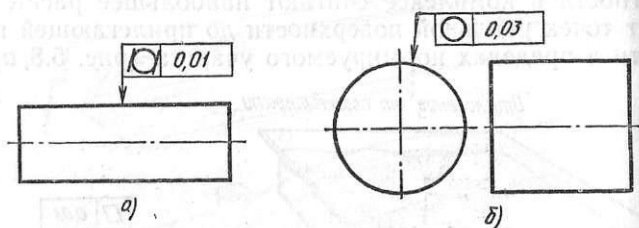


Рис. 5.9. Обозначение допуска:  
а — цилиндричности, б — круглости

Цилиндрические поверхности элементов деталей имеют комплексные и частичные отклонения от цилиндричности.

В настоящее время на производстве машин еще нет средств измерения, которыми можно численно или комплексно оценить величину отклонения от цилиндричности для реальной детали, поэтому назначаются допуски комплексных отклонений цилиндрических поверхностей в отдельных сечениях. Такими являются: для отклонения от круглости — допуск круглости, для отклонения профиля продольного сечения — допуск профиля продольного сечения, для отклонения от прямолинейности оси — допуск прямолинейности оси.

**Отклонением от круглости** (комплексным для поперечного сечения цилиндрической поверхности) считают наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля поперечного сечения до прилегающей окружности. В деталях машин мы встречаем два варианта прилегающей окружности: для наружной цилиндрической поверхности (вала) и для внутренней цилиндрической поверхности (отверстия).

Допуск круглости на чертежах обозначается в рамке (рис. 5.9, б).

Отклонение от круглости измеряется с помощью специальных *кругломеров*. На рис. 5.10, а показан общий вид кругломера с вращающимся индуктивным датчи-

ном 2. Деталь 3 на таком приборе стоит неподвижно, а датчик 2 вращается вместе с высокоточным шпинделем 1, на котором он укреплен. К кругломеру прилагается шаблон для определения величины отклонения от круглости (рис. 5.10, б).

Кругломеры изготовляют так, чтобы на них можно было измерять наружные и внутренние цилиндрические поверхности с размерами от 3 до 300 мм (внутренние до 400 мм) при длине до 300—400 мм.

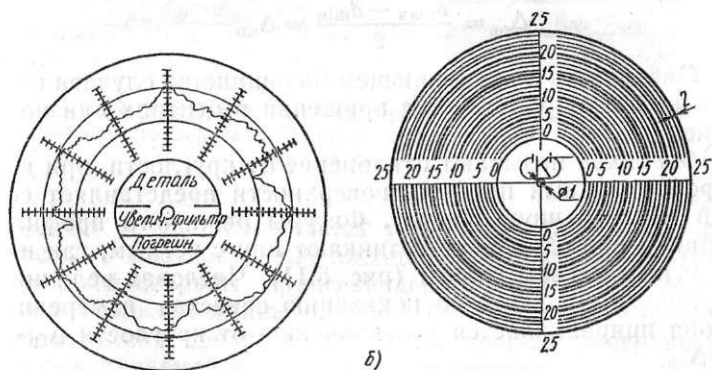
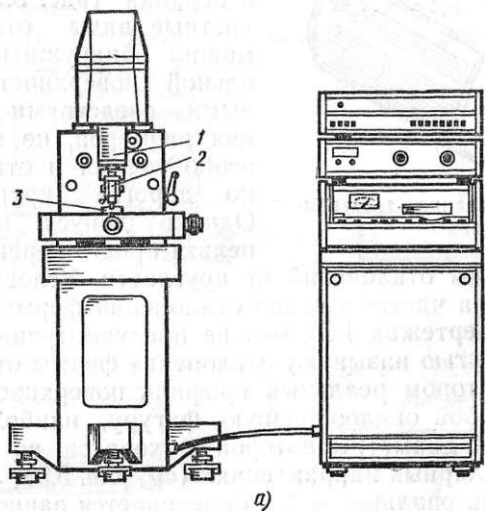


Рис. 5.10. Кругломер:

а — общий вид, б — шаблон для определения величины отклонений от круглости

Кругломер является высокоточным измерительным прибором — погрешность самого кругломера равна 0,2 мкм.

При различных видах обработки отклонения от круглости выражаются конкретным характером отклонений, которые принято называть частными видами отклонений от круглости. Такими частными видами являются овальность (см. рис. 5.3, а) и огранка (рис. 5.11). Эти частные виды отклонений можно обнаружить на реальной поверхности обычными средствами измерения размеров, не применяя особо точных и относительно дорогих кругломеров. Однако допуск круглости нельзя просто переносить на

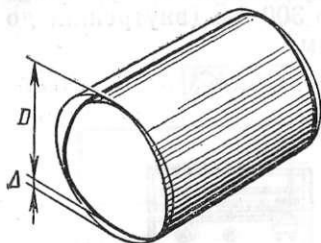


Рис. 5.11. Огранка трехгранная

частные виды отклонений от круглости. Условные обозначения для частных видов отклонений формы поверхностей на чертежах ГОСТом не предусмотрены.

*Овальностью* называют отклонение формы от круглости, при котором реальный профиль поверхности представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (см. рис. 5.3).

Величина овальности  $\Delta_{\text{ов}}$  определяется зависимостью

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

Овальность в подавляющем большинстве случаев возникает при обработке тел вращения в центрах или патроне.

*Огранкой* называют отклонение от круглости, при котором реальный профиль поверхности представляет собой многогранную фигуру. Фигуры реального профиля огранки при обработке возникают как с четным, так и с нечетным числом граней (рис. 5.11). Числовая величина огранки выявляется по показанию средства измерения, и она приравнивается к отклонению от круглости  $\Delta_{\text{гр}} = \Delta_{\text{кр}}$ .

Овальность и огранка с четным числом граней измеряются обычными средствами измерения диаметров, т. е. гладким микрометрами, рычажными скобами и други-

ми средствами измерения с двухточечной схемой измерения. Огранку с нечетными числами граней выявить этими средствами невозможно, так как диаметры поперечного сечения этого реального профиля равны во всех направлениях. Здесь приходится применять измерительные средства с трехточечной схемой измерения.

Огранка в подавляющем большинстве случаев возникает при таких видах обработки, как бесцентровое шлифование.

**Отклонение профиля продольного сечения** (рис. 5.12, а). Это отклонение есть наибольшее расстояние

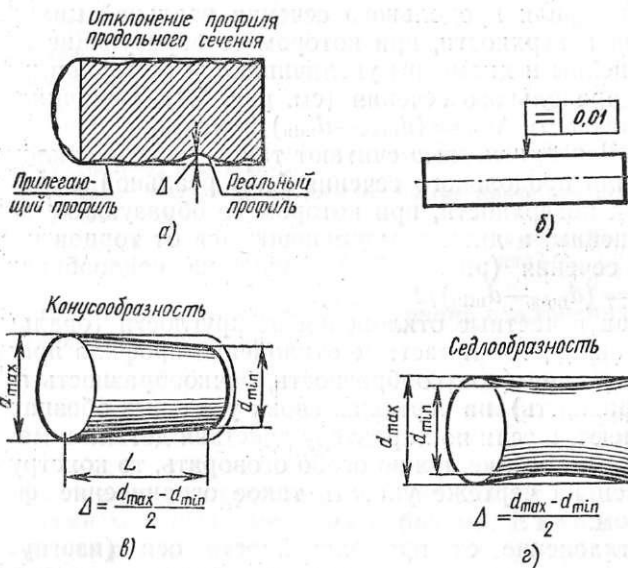


Рис. 5.12. Отклонение профиля продольного сечения (а), обозначение его допуска (б), конусообразность (в) и седлообразность (г)

$\Delta_{\text{прод}}$  от точек, образующих реальную поверхность, лежащих в плоскости, проходящей через ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля, определенное в пределах длины нормируемого участка. Это тоже комплексный показатель точности формы поверхности, рассматриваемой в ее продольном сечении.

Несмотря на то что он нормируется по ГОСТу требованием, указываемым в чертежах специальным обозначением и величиной допуска в рамке (рис. 5.12, б),

практически для деталей в машиностроении он, как правило, не используется.

Частными отклонениями профиля продольного сечения считают конусообразность, бочкообразность и седлообразность.

*Конусообразностью* считают такое частное отклонение  $\Delta_{\text{кон}}$  профиля продольного сечения реальной цилиндрической поверхности, при котором ее образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 5.12, в). Величина конусообразности  $\Delta_{\text{кон}} = (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) / 2 = \Delta_{\text{прод}}$ .

*Бочкообразностью* считают такое частное отклонение  $\Delta_{\text{боч}}$  профиля продольного сечения реальной цилиндрической поверхности, при котором ее образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от торцов к середине продольного сечения (см. рис. 5.4). Величина бочкообразности  $\Delta_{\text{боч}} = (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) / 2 = \Delta_{\text{прод}}$ .

*Седлообразностью* считают такое частное отклонение профиля продольного сечения  $\Delta_{\text{седл}}$  реальной цилиндрической поверхности, при котором ее образующие непрямолинейны, а диаметры уменьшаются от торцов к середине сечения (рис. 5.12, г). Величина седлообразности  $\Delta_{\text{седл}} = (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) / 2 = \Delta_{\text{прод}}$ .

Как и частные отклонения от круглости (овальность и огранка), так и частные отклонения профиля продольного сечения (конусообразность, бочкообразность и седлообразность) на чертежах своих условных обозначений не имеют, и если по характеру действия детали в машине такое отклонение нужно особо оговорить, то конструктор должен на чертеже указать такое ограничение формы текстом.

**Отклонение от прямолинейности оси (изогнутость оси).** Это наименьшее значение диаметра цилиндра, внутри которого располагается реальная ось поверхности в пределах нормируемого участка. На чертежах допуск прямолинейности оси обозначается так же, как и допуск прямолинейности в плоскости, но в рамке рядом с величиной допуска ставится знак *M*, что обозначает зависимость этого допуска от отклонения диаметра.

После рассмотрения различных разновидностей допусков и отклонений формы поверхностей следует напомнить, что допуски формы назначаются отдельно только в случаях, когда требуется форму сделать точнее размера. Для этих случаев ГОСТ 24643—81 установлены относительные геометрические точности формы в зависимости от величины допуска диаметра. Среднее соотноше-

ше допуска формы и диаметра имеет зависимость

$$K = \left( 2 \frac{T_{\Phi}}{T_d} \right) 100 \%,$$

где  $T_{\Phi}$  — допуск формы, а  $T_d$  — допуск диаметра.

Установлены точности: нормальная А, повышенная В, высокая С и особо высокая. Для нормальной точности  $K=60\%$ , для повышенной  $K=40\%$ , для высокой  $K=25\%$  и для особо высокой  $K$  — менее  $25\%$ .

#### Контрольные вопросы

1. Что такое номинальная форма поверхности, реальная поверхность, профиль поверхности и прилегающая поверхность?
2. Какие требования предъявляются к форме поверхности? Что такое комплексные и частные требования?
3. Перечислите виды отклонений формы поверхности и условные обозначения их на чертеже.
4. Что такое отклонения от прямолинейности? Какие для них применяют средства измерения?
5. Что такое отклонение от плоскостности? Какие для него применяют средства измерения?
6. Какие существуют отклонения формы цилиндрических поверхностей? Какие для них применяют средства измерения?

### § 5.3. Допуски, отклонения и измерение отклонений расположения поверхностей

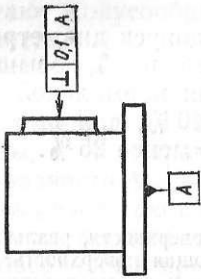
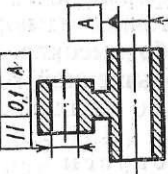
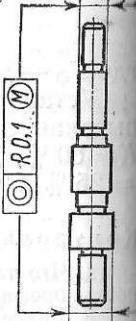
Отклонением расположения поверхности считают отклонение реального расположения рассматриваемого элемента детали от его номинального расположения. Номинальное расположение элемента задается номинальными координирующими линейными или угловыми размерами между элементами и базами. Базой называется поверхность, от которой задается, обрабатывается и измеряется расположение элемента детали. Реальное расположение элемента детали определяется измеренными действительными координирующими размерами от элемента до баз.

*Допуском расположения* называется предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения поверхности. Виды отклонений расположения, их определения и условные обозначения даны в табл. 10.

Для параллельности, перпендикулярности и уклона допуском является наибольшее допускаемое значение отклонения заданного расположения.

Для соосности, симметричности, пересечения осей и позиционного допуска возможно задание допуска рас-

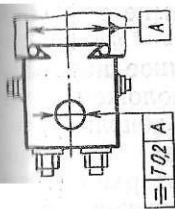
# 10. Виды отклонений расположения поверхностей

Вид отклонения	Определение	Обозначение допуска
<p>Отклонение от перпендикулярности плоскостей</p>	<p>Отклонение угла между плоскостями от прямого угла, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка</p>	
<p>Отклонение от параллельности</p>	<p>Разность наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостями или осями на длине нормируемого участка</p>	
<p>Отклонение от соосности</p>	<p>Наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка</p>	<p>Обозначение допуска соосности ступеней вала</p> 



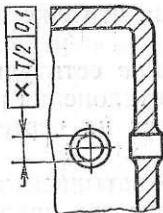
Отклонение от симметричности

Наибольшее расстояние между плоскостями симметрии рассматриваемого и базового элементов в пределах нормируемого участка



Отклонение от пересечения осей

Наименьшее расстояние между осями, номинально пересекающимися



Позиционное отклонение (смещение от номинального расположения)

Наибольшее расстояние между реальным расположением элемента (его оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка.

Отклонение наклона плоскости или оси

Отклонение угла между прилегающей плоскостью (или осью) и базовой плоскостью от номинального угла, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка

положения двумя способами: в радиусном или диаметральном выражении.

*Радиусное выражение допуска расположения* есть наибольшее допускаемое значение отклонения расположения. Оно обозначается на чертеже в рамке дополнительным знаком  $R$  или  $T/2$ .

*Диаметральное выражение* есть удвоенное наибольшее допускаемое значение отклонения расположения поверхности. Оно обозначается на чертеже дополнительным знаком  $T$ .

Для охватывающих и охватываемых поверхностей в ГОСТ 24643—81 установлены два вида допусков расположения — зависимые и независимые.

*Независимым допуском* называется допуск расположения, числовое значение которого не зависит от действительного размера нормируемого или базового элемента.

*Зависимым допуском* называется допуск расположения, который зависит от действительного размера нормируемого или базового элемента. Зависимый допуск указывается в обозначении расположения поверхности на чертеже, и этот допуск разрешается превышать на величину отклонения действительного размера измеряемого элемента от наибольшего размера вала или наименьшего размера отверстия. На чертеже зависимый допуск расположения поверхности обозначается знаком  $M$ , который ставится в рамке после величины допуска расположения и после знака базы.

В условных обозначениях допусков расположения поверхностей, кроме указанных выше знаков видов отклонений, зависимости допуска, знаков радиусного или диаметального выражений еще указывается знак базы  $A$ , определяющий базовую поверхность, от которой назначен допуск расположения поверхности рассматриваемого элемента. Знак этот ставится в рамке обозначения после величины допуска, а также выносится в отдельный квадрат, от которого дается линия привязки к выносной линии от заданной базовой поверхности или к самой базовой поверхности. Для подчеркивания базы на касании линии привязки выносной линии или базы ставится зачерченный треугольник.

**Измерение отклонений расположения поверхностей.** Выполнять такие измерения средствами, применяемыми для измерения размеров, затруднительно, так как измерять в подавляющем большинстве случаев приходится

в корпусных деталях машин, определяющих положение остальных деталей в машине. Возможны измерения с помощью подобранной группы универсальных средств измерения для единичного производства. Поэтому для измерения отклонений расположения поверхностей в серийном и массовом производстве изготавливают специальные средства, называемые *измерительными приспособлениями*.

Конструирование и изготовление таких измерительных приспособлений требуют значительных затрат средств и времени, поэтому их применяют только там, где без них нельзя обойтись, так как измеряемые параметры обеспечивают взаимозаменяемость на сборке или гарантируют требуемую точность работы машины.

В последнее время отечественная станкоинструментальная промышленность стала изготавливать универсальные средства измерения отклонений формы и расположения поверхностей элементов деталей машин. Первыми в нашей стране получили распространение *трехкоординатные измерительные машины* (КИМ) и в их числе КИМ, выпущенная Одесским станкостроительным заводом им. Кирова еще в конце 60-х годов.

В нашей стране выпускается КИМ с *автоматическим управлением*, разработанная филиалом ЭНИМС в г. Вильнюсе. Это машина модели ВЕ155 (рис. 5.13). Измеряемая деталь 4 устанавливается на предметном столе 2 (неподвижно). Портал 3 движется по основанию машины в направлении оси  $Y$ . По порталу в направлении оси  $X$  перемещается каретка 7, а в каретке движется вертикально по оси  $Z$  штанга 6. На нижнем конце штанги укрепляют индуктивный датчик-преобразователь 5, имеющий один, два или пять контактов, в зависимости от количества, формы и других особенностей поверхностей элементов измеряемой детали 4. Машина выполняет движения портала 3, каретки 7 и штанги 6 в автоматическом режиме по командам программ мини-ЭВМ 10, вводимым в устройство ввода программ 12. Мини-ЭВМ 10 имеет шкалы с цифровой индикацией 11, на которые выводятся данные сигналов датчика. Эти сигналы возникают в датчике в момент касания его контактов с поверхностями элементов детали 4. Счетно-решающее устройство мини-ЭВМ определяет отклонения сигнала датчика от данных, заложенных в программу по заданным параметрам поверхностей, их форме, расположению, а в ряде случаев и размерам элементов детали 4. Установ-

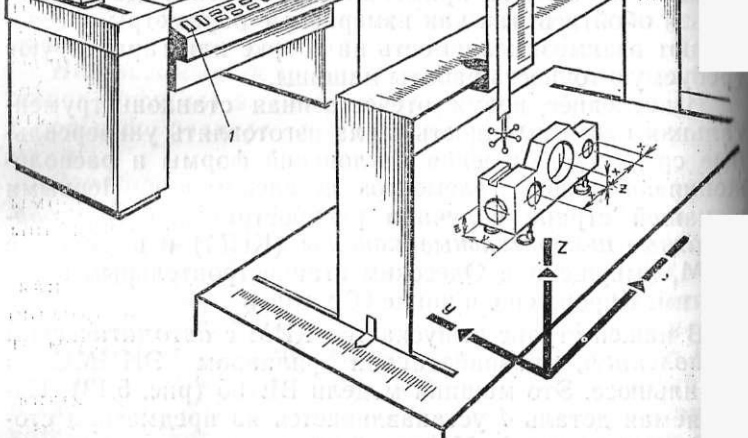


Рис. 5.13. Координатно-измерительная машина VE155

ленные отклонения выводятся на шкалы с цифровой индикацией *11* и фиксируются с помощью цифropечатающего устройства *8*. Во время наладки машины по очередной программе предварительная оценка результатов измерения детали осуществляется исполнителем на экране дисплея *9*.

КИМ модели VE155 в случае необходимости работает также и в режиме ручного управления по командам рукояток приборов, размещенных на пульте *1*.

Машина VE155 обладает высокой универсальностью. На ней измеряются и обрабатываются данные результатов следующих измерений: линейные и угловые размеры, отклонения формы и отклонения расположения поверхностей самого различного типа, межосевые расстояния отверстий и т. д.

Машина имеет перемещение по оси  $X=1000$  мм, по оси  $Y=630$  мм, по оси  $Z=400$  мм. Погрешность перемещения по этим осям до 6 мкм.

#### § 5.4. Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей

При изготовлении деталей машин реальные отклонения формы и расположения поверхностей в большинстве случаев возникают одновременно, т. е. поверхность элемента детали при обработке оказывается изготовленной с отклонением как по форме, так и по расположению от базы. Оба эти отклонения складываются (алгебраическая сумма), и возникают так называемые *суммарные отклонения* формы и расположения поверхности. Это совсем не значит, что на чертеже всегда должна быть обозначена норма точности, формы и расположения поверхности.

Наиболее типовые из суммарных отклонений формы и расположения и их обозначения на чертеже указаны в табл. 11.

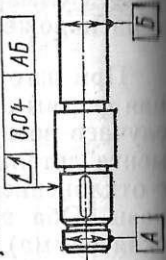
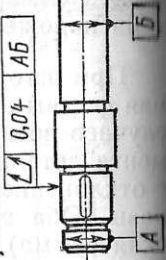
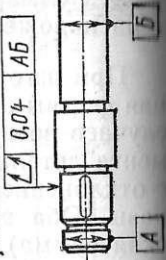
Суммарное отклонение — *радиальное биение* — является одним из наиболее характерных. В нем обычно складывается отклонение от круглости с отклонением от соосности с базовой осью вращения детали.

Измерение этого суммарного отклонения выполняют, устанавливая измеряемую деталь в центра, а измерительную головку — в штатив, в свою очередь укрепленный на станине.

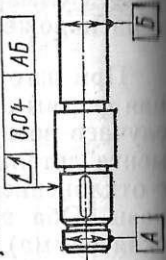
В табл. 11 показано и обозначено полное радиальное биение поверхности — это суммарное отклонение поверхности, которое нормировано для всех сечений данной поверхности. Его измеряют так же, как и в предыдущем случае, с той разницей, что деталь проворачивают несколько раз вокруг оси, а штатив с измерительной головкой в это время плавно перемещают вдоль оси центров на длину нормированного участка поверхности. Наблюдая по шкале за размахами колебаний стрелки индикатора при каждом обороте детали, замечают наибольший из них и его величину считают полным радиальным биением измеренной поверхности.

К числу суммарных отклонений формы и расположения поверхности, часто нормируемых на чертежах, относится также *торцовое биение* (табл. 11). Оно возникает из-за отклонений плоскости торца от перпендикулярности оси вращения детали.

## 11. Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей

Вид отклонения	Определение	Обозначение допуска
Радиальное биение	Разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (см. эскиз первый)	
Торцовое биение	Разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой (см. рис. 4.21)	
Полное радиальное биение	Разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси (см. рис. 5.13, e)	

Обозначение допуска полного радиального биения ступеней



Полное торцовое биение

Разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси

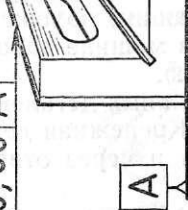
Суммарное отклонение от перпендикулярности и плоскостности

Разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой плоскости (или базовой оси) в пределах нормируемого участка (см. рис. 5.13, ж)



$\perp \square 0,03 \text{ A}$

$\square \text{ A}$



## § 5.5. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей

*Крепежными* называются детали, соединяющие и закрепляющие в машине положение других деталей, которые выполняют в машине работу, связанную с ее основной деятельностью.

К числу крепежных деталей относят болты, шпильки, заклепки и т. п. Крепежная деталь проходит сквозь соединяемые детали и через отверстия, выполняемые специально для соединения.

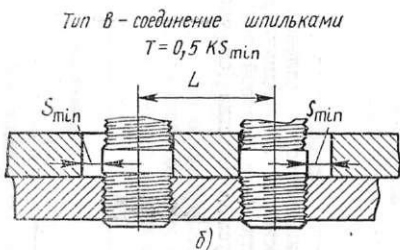
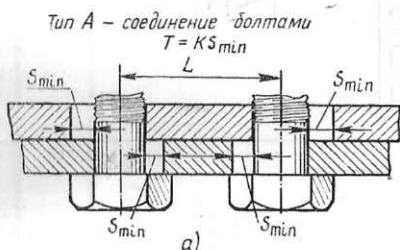


Рис. 5.14. Зависимость допуска на расстояние между осями отверстий от зазоров при соединении деталей:

а — по типу А, б — по типу В

в отверстиях нарезана резьба для ввинчивания шпилек (рис. 5.14, б), поэтому гарантированных зазоров здесь нет.

Следовательно, при изготовлении соединяемых деталей оси отверстий под крепежные детали в случае типа А допустимо смещать от их номинального расположения в пределах гарантированных зазоров в отверстиях и в крышке и корпусе. В случае соединения по типу В оси отверстий под крепежные детали допустимо смещать только в пределах величины зазоров в крышке.

Такие соединения подразделяются на два типа: тип А (рис. 5.14, а) и тип В (рис. 5.14, б).

При соединении по типу А в соединяемых деталях между отверстиями и проходящими через них крепежными деталями (болтами, заклепками) предусмотрены гарантированные зазоры. При соединении по типу В такие гарантированные зазоры предусматриваются только в отверстиях более легкой из соединяемых деталей (например, в крышке), а в основной, более массивной детали (например, в корпусе)



**Вывод:** допуск на смещение осей отверстий в соединяемых деталях при типе В вдвое меньше, чем при типе А, т. е. для типа А допуск расположения осей будет  $T_A = S_{\min} K$ , а для типа В допуск  $T_B = 0,5 S_{\min} K$ , где  $K$  — коэффициент использования зазора для компенсации

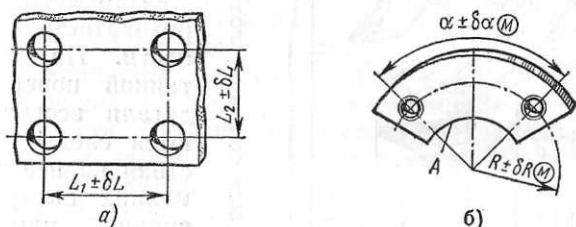


Рис. 5.15. Расположение осей отверстий:  
а — в прямоугольных координатах, б — в полярных координатах

отклонения расположения осей отверстий при сборке. Если соединяемые детали взаимно регулировать не требуется, то можно допустить, что  $T_A = S_{\min}$ ,  $T_B = 0,5 S_{\min}$ .

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей установлены ГОСТ 14140—81.

Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей могут быть установлены на чертежах двумя способами:

*позиционными допусками*, т. е. указанием предельного смещения оси отверстия с его номинального расположения;

*предельными отклонениями размеров*, координирующих положение оси отверстий. При этом способе координирование может быть выполнено как в прямоугольных координатах (рис. 5.15, а), так и в полярных (рис. 5.15, б).

#### Контрольные вопросы

1. Что такое номинальное и реальное расположение поверхности и допуск расположения поверхности элемента детали?
2. Что такое зависимые и независимые допуски расположения поверхностей?
3. Назовите по рисунку условного обозначения вид отклонения расположения, величину допуска, его зависимость и базу.
4. Что такое координатно-измерительная машина КИМ, каковы ее назначение и преимущество?
5. Что такое суммарные отклонения формы и расположения поверхностей и каковы условные обозначения их на чертежах?
6. От чего зависит величина допуска расположения осей отверстий для крепежных деталей?

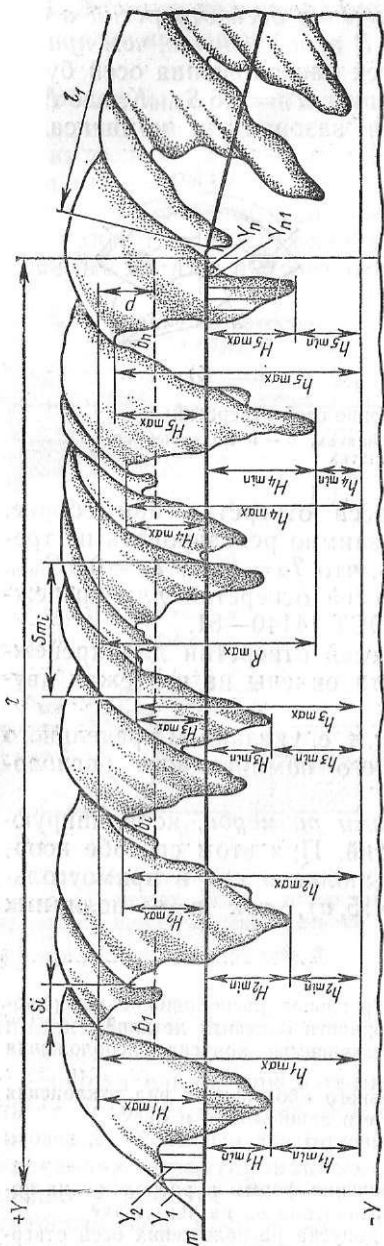


Рис. 5.16. Продольный разрез микронеровностей и параметры шероховатости поверхности

## § 5.6. Шероховатость поверхности, ее нормирование и измерение

Параметры шероховатости поверхности. На обработанной поверхности детали всегда остаются следы воздействия на нее в виде мелких выступов и впадин, или, как иначе их называют, — микронеровностей. Совокупность микронеровностей на поверхности детали принято называть шероховатостью поверхности.

Шероховатость поверхности имеет свои характеристики: геометрическую величину неровностей, способность сцепления поверхности с покрытиями, отражающую способность и др. Однако главной характеристикой шероховатости в машиностроении является ее геометрическая величина.

Государственный стандарт на шероховатость поверхности устанавливает единый подход к определению величины шероховатости — ос-

новой для этого является *профиль шероховатости* и его *параметры* (рис. 5.16).

*Базовой линией* называется линия, по которой оценивается шероховатость.

Исходными в профиле для определения параметров шероховатости являются *базовая длина участка  $l$* , по которой рассматривается шероховатость данной поверхности, и *средняя линия* профиля.

По величинам расстояний  $Y$  от точек профиля до средней линии  $m$  определяются величины параметров шероховатости. Разрешается вместо средней линии для отсчета параметров применять вспомогательную линию, параллельную линии  $m$  (см. рис. 5.16).

Размерными параметрами шероховатости по ГОСТу являются  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{\max}$ ,  $S_m$  и  $t_p$ . Рассмотрим их подробнее:

$Ra$  — среднее арифметическое отклонение точек профиля от линии  $m$

$$Ra = \frac{|Y_1| + |Y_2| + |Y_3| + \dots + |Y_n|}{5};$$

$Rz$  — высота неровностей, определенная по десяти наиболее отклоняющимся точкам профиля на длине базы  $l$ . Для подсчета  $Rz$  находят в профиле поверхности на участке базы  $l$  пять самых высоких неровностей и пять самых глубоких впадин, суммируют отклонения  $h_{\max}$  пяти высоких вершин, а в отдельную величину суммируют отклонения  $h_{\min}$  пяти глубоких впадин и подсчитывают величину  $Rz$ :

$$Rz = \frac{(h_{1\max} + h_{2\max} + \dots + h_{5\max}) - (h_{1\min} + h_{2\min} + \dots + h_{5\min})}{5}.$$

$R_{\max}$  — наибольшая высота неровностей профиля (рис. 5.16);

$S_m$  — средний шаг неровностей профиля, измеренный по средней линии  $m$ ;

$S$  — средний шаг неровностей профиля, измеренный по вершинам неровностей;

$t_p$  — относительная опорная длина профиля, т. е. сумма длин отрезков, отсекаемых от неровностей линией, параллельной линии  $m$ ;

$t_p$  — определяется в % от  $R_{\max}$ , чем характеризует фактическую плотность контакта поверхности в сопряжении на заданном уровне сечения профиля.

Шероховатость поверхности является существенным

геометрическим показателем качества поверхности детали. В особенности она важна для сопрягаемых поверхностей. Если поверхность предназначена для посадки с зазором, то значительные неровности будут разрушать непрерывность масляной пленки и может возникнуть сухое трение материалов сопряженных де

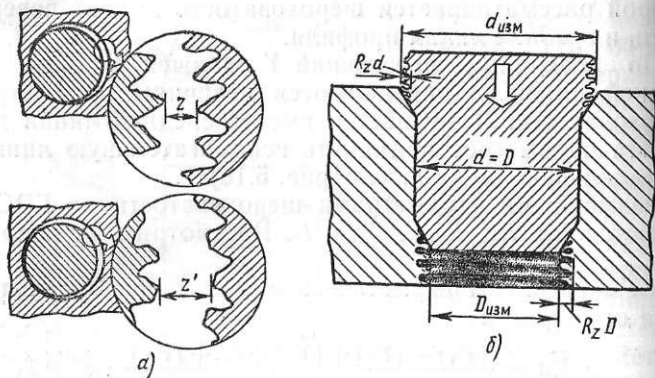


Рис. 5.17. Поверхности, предназначенные для посадки с зазором (а) и натягом (б)

талей и износ поверхности, из-за чего зазор будет увеличиваться (рис. 5.17, а).

Если же данная поверхность должна сопрягаться в посадке с натягом, то значительные неровности, сминаясь, будут уменьшать действующий в сопряжении натяг по сравнению с предполагаемым натягом по результатам измерения диаметров вала и отверстия перед сборкой (рис. 5.17, б).

**Обозначение шероховатости поверхности на чертежах.** Для обозначения шероховатости поверхности на чертежах применяют следующие условные знаки:

✓ — указывает на то, что метод обработки поверхности чертежом не определяется. Числовое значение параметра шероховатости в мкм ставится над знаком с буквенным символом параметра (кроме  $R_a$ ). Например,

$0,63/$  или  $R_z 70/$ .

✓ — указывает на то, что поверхность должна быть получена удалением слоя металла (точением, шлифова-

нием, травлением и т. п.). Может быть задан текстом вид обработки, он пишется на полке знака.

✓ — указывает на то, что поверхность может быть получена без удаления слоя металла (холодной штамповкой, накаткой, чеканкой и т. п.) или поверхность, полученная при изготовлении первичной заготовки, не должна обрабатываться, например, после литья,ковки, горячей штамповки и т. п.

Если направление неровностей на поверхности влияет на ее функциональные свойства, то под условным знаком ставят обозначение направления неровности по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность. Направление параллельное —  $\parallel$ , перпендикулярное —  $\perp$ , перекрещивающееся —  $\times$ , произвольное —  $M$ , кругообразное —  $C$ , радиальное —  $R$ .

**Измерение шероховатости поверхности.** Наиболее простым средством оценки шероховатости поверхности служит визуальное сравнение реальной поверхности элемента детали с образцом шероховатости (рис. 5.18).

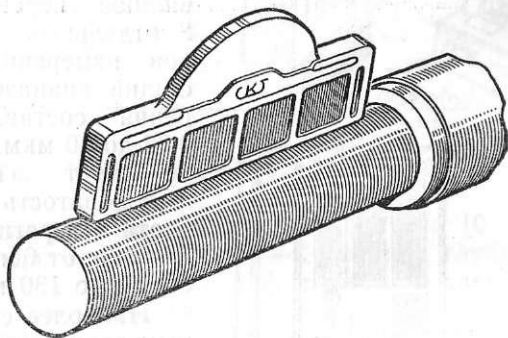
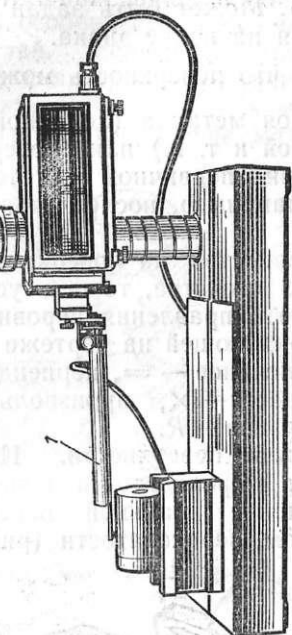


Рис. 5.18. Образец шероховатости при визуальном контроле

*Образец шероховатости* представляет собой пластинку, одна из поверхностей которой обработана с образцовой шероховатостью и аттестована по параметру  $R_a$  на профилемере. Пластинки собираются в обоймы по 4 шт., причем подобраны так, что на соседних значение  $R_a$  отличается на величину, заданную в таблице ГОСТом.

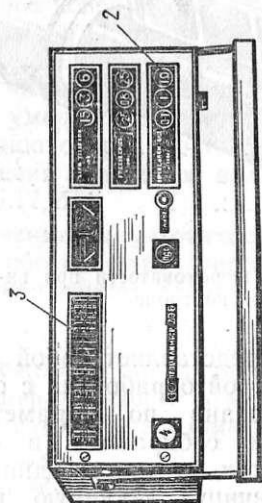
Значительное распространение для измерения числовых величин параметров шероховатости получили щупо-



вые средства измерения — профилометры и профилографы-профилометры. К их числу относится портативный профилометр модели 296, изготавливаемый заводом «Калибр». Этот прибор выполняет контактное измерение параметра  $Ra$  индуктивным датчиком 1, показывая числовое значение этого параметра в окне с цифровой индикацией 3 в микрометрах (рис. 5.19).

Профилометр модели 296 имеет клавишное переключение 2 отдельных диапазонов измерения  $Ra$ , а общий диапазон измерения составляет от 0,02 до 10 мкм. Прибор позволяет измерять шероховатость поверхности отверстий с диаметрами от 6 мм и глубиной до 130 мм.

Наиболее современным средством измерения шероховатости поверхности практически по всем параметрам является профилограф-профилометр модели 252, изготавливаемый заводом «Калибр» (рис. 5.20). Этот прибор действует по методу преобразования колебаний иглы, укрепленной в индуктивном преоб-



разователе-датчике, в колебания напряжения тока.

По профилограмме определяется величина параметров  $R_z$  и  $S$ . Профилометр модели 252 измеряет и показывает числовые значения параметров  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $S_m$  и  $t_p$ , попутно определяя  $H_{max}$  и  $H_{min}$ .

Диапазон измерений  $R_a$  этого прибора от 0,02 до 100 мкм. Для измерения шероховатости поверхностей с весьма малыми  $R_a$  и  $S$  применяют датчик с иглой, имеющей радиус закругления острия 2 мкм, а для более

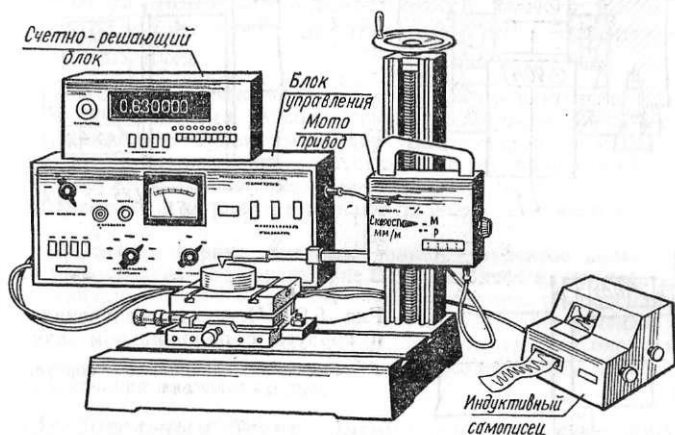


Рис. 5.20. Профилограф-профилометр модели 252

грубых шероховатостей — иглу с радиусом 10 мкм. Наименьший диаметр отверстий — 3 мм при глубине 5 мм.

Работая как профилограф, прибор выдает профилограмму с профилем, увеличенным по вертикали от  $200\times$  до  $100\,000\times$ , а по горизонтали от  $0,5\times$  до  $200\times$ .

#### Контрольные вопросы

1. Что такое шероховатость поверхности?
2. Назовите размерные параметры шероховатости поверхности.
3. Нарисуйте условные знаки шероховатости на чертеже, назовите, что они обозначают.
4. Опишите образцы шероховатости поверхности.
5. Что такое портативный профилометр и как его применяют?

#### § 5.7. Допуски для соединений с подшипниками качения

Шариковые, роликовые и игольчатые подшипники принято объединять общим названием подшипники ка-

чения. Такой подшипник состоит из наружного и внутреннего колец и расположенных между ними шариков или роликов (рис. 5.21).

Внешняя поверхность наружного кольца подшипника сопрягается с поверхностью отверстия детали, в которую вкладывается подшипник. Эту деталь принято называть *корпусом*, им может оказаться и коробка редук-

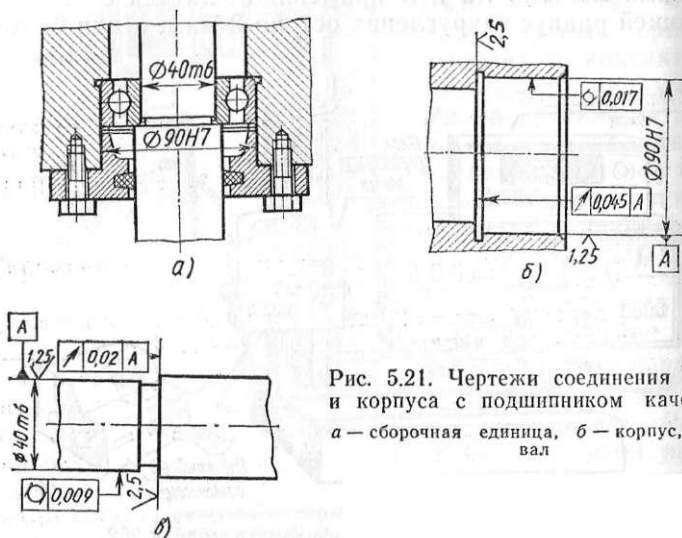


Рис. 5.21. Чертежи соединения вала и корпуса с подшипником качения. а — сборочная единица, б — корпус, в — вал

тора, и вращающаяся на валу шестерня. Поверхность отверстия внутреннего кольца подшипника сопрягается с поверхностью *вала*, на который надевается подшипник.

Точность подшипников качения определяется ГОСТ 3478—79, в котором установлено пять классов точности: P0, P6, P5, P4 и P2 (в порядке повышения точности). В классе точности к подшипникам назначены следующие требования: отклонения посадочных размеров колец, непостоянство ширины кольца, предельное радиальное биение дорожки качения кольца, биение базового торца подшипника.

Характер сопряжений наружного и внутреннего колец подшипника с отверстием корпуса и валом зависит в основном от вида *нагрузки* данного кольца. Различают в зависимости от того, вращается ли данное коль-



но или оно неподвижно, местное, циркуляционное и колебательное нагружения.

*Местным* нагружение данного кольца будет в том случае, если оно воспринимает радиальную нагрузку от шариков ограниченным участком дорожки качения и передает ее ограниченному участку сопрягаемой с ним поверхности вала или корпуса.

*Циркуляционным* нагружение данного кольца будет в том случае, если оно воспринимает радиальную нагрузку от шариков последовательно всей дорожкой качения и передает всей сопрягаемой с ним поверхности вала или корпуса.

Пример. 1. Вращается вал (рис. 5.22, а) и внутреннее кольцо вместе с ним. Нагрузка расположена в радиальном направлении. Внутреннее кольцо будет иметь циркуляционное нагружение, так как шарики нагружают последовательно всю его вращающуюся дорожку. Наружное кольцо здесь имеет местное нагружение, так как оно неподвижно и шарики нагружают только один участок его дорожки.

2. Вращается корпус, которым является зубчатое колесо. Нагрузка расположена радиально (рис. 5.22, б). Здесь внутреннее кольцо неподвижно и будет иметь местное нагружение, так как шарики будут нагружать только один участок его дорожки качения. Наружное кольцо здесь нагружено циркуляционно, так как оно вращается вместе со своим корпусом и шарики воздействуют на всю его дорожку качения последовательно.

*Колебательным* будет нагружение данного кольца в том случае, если нагрузка складывается из двух нагрузок — одной направленной постоянно, а второй вращающейся. Взаимодействуя друг с другом, нагрузки то складываются, то вычитаются, поэтому суммарная нагрузка колеблется как по величине, так и по направлению. При этом участки нагружения дорожки шариками непрерывно меняются (колеблются).

Как правило, кольца с циркуляционным нагружением сопрягаются с поверхностями вала или корпуса по посадкам с натягами, а кольца с местным нагружением — по посадкам с небольшими зазорами. Кольца с колебательным нагружением сопрягаются с валами и отверстиями с полями допусков  $I_{s5}$  или  $I_{s6}$ .

Соединения подшипников качения с валами и корпусами выполняют согласно ГОСТ 3325—55 по системе отверстия и системе вала. Основными деталями систем являются сопрягаемые поверхности наружного кольца (система вала) и внутреннего кольца (система отверстия). Особенностью здесь является то, что поле допуска основного отверстия (внутреннего кольца) смещено

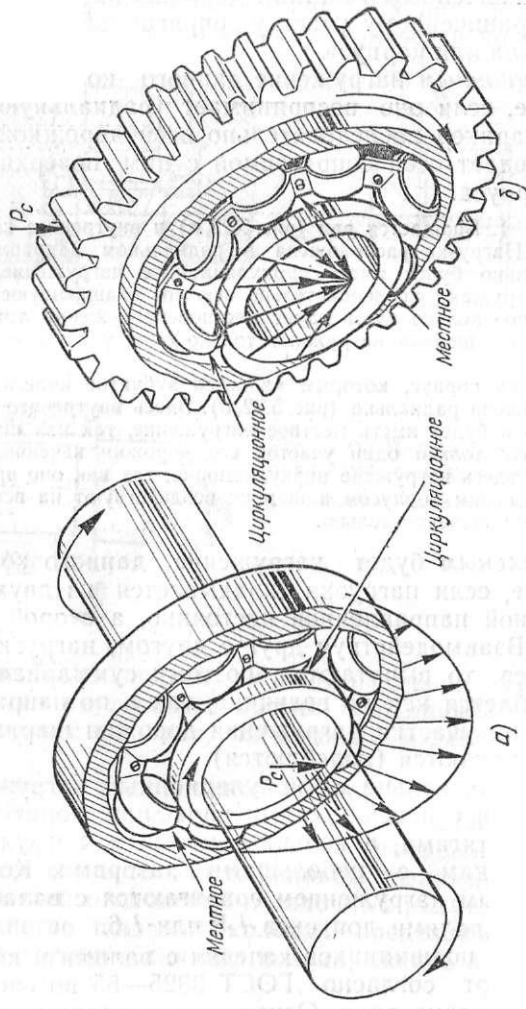


Рис. 5.22. Нагружения колец:  
 а — при вращении вала, б — при вращении корпуса



ная  $\frac{1}{60}$  градуса, и *угловая секунда* (″), равная  $\frac{1}{60}$  угловой минуты;

в радиальной системе — *радиан* — угол между двумя радиусами одной окружности, вырезающими из нее дугу, длина которой равна длине радиуса. Долей радиана (рад) является микрорадиан (мкрад), т. е. одна миллионная часть радиана (так же, как микрометр равен одной миллионной части метра).

Соотношение между единицами обеих систем:  $1^\circ = 0,017453$  рад.

В практической деятельности применяют пока только градусную систему (хотя для расчетов удобнее радианная), так как еще не выпускаются средства измерения со шкалами, разделенными в радианах.

Отклонение угла  $\Delta\alpha$  часто оценивают изменением расстояния  $\Delta h$  между сторонами угла, измеренное в линейных величинах (например, в миллиметрах на 1 м):  $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$  и  $\Delta h = h_2 - h_1$ , таким образом  $\Delta h$  есть отклонение угла, оцененное в миллиметрах на длине  $L$ .

Размеры нормальных углов. ГОСТ 8908—81 установлены нормальные углы, величины которых расположены в трех рядах. Первый ряд — это углы 5; 15; 30; 45; 60; 90 и 120°. Эти углы должны применяться в первую очередь. Второй ряд включает в себя углы первого ряда и в дополнение к ним углы 0°30′; 1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 10; 20; 40; 75°. Если же по расчету требуются все-таки и другие углы, то для них предусмотрен еще и третий ряд с большим количеством дополнительных углов.

## § 6.2. Допуски угловых размеров и углов конусов

*Допуском угла*  $AT$  называется разность между наибольшим  $\alpha_{\max}$  и наименьшим  $\alpha_{\min}$  предельными размерами угла. Обозначение  $AT$  принято по СТ СЭВ.

Различаются три расположения поля допуска  $AT$  относительно номинального размера угла: смещенное в  $+AT$ , смещенное в  $-AT$  и симметрично расположенное  $\pm \frac{AT}{2}$ .

Величина допуска угла  $AT$  назначается в зависимости от длины  $L_1$  меньшей из сторон, образующих угол, а номинальная величина угла при назначении допуска не принимается во внимание.

В таблицах ГОСТ 8903—81 и на чертежах числовая величина допуска угла выражается различными обозначениями:

$AT_\alpha$  — допуск угла, заданный в радианах или градусах, точно переведенных из числа радиан;

$AT_\alpha^1$  — допуск угла, заданный в градусах, число которых округлено после пересчета из радиан;

$AT_h$  — допуск угла, заданный длиной отрезка (катета), перпендикулярного меньшей стороне угла;

$AT_D$  — допуск угла конуса, заданный линейной величиной. Этот допуск назначается как допуск на разность диаметров конуса на заданном расстоянии  $L$ .

Числовые величины допусков углов предусмотрены ГОСТ 8908—81 во всех этих выражениях и разделены на 17 степеней точности (см. приложение).

**Нормальные конусности.** ГОСТ 8593—81 приняты для машиностроения в качестве нормальных конусности 1 : 200; 1 : 100; 1 : 50; 1 : 30; 1 : 20; 1 : 15; 1 : 12; 1 : 10 и т. д. до 1 : 0,289.

Помимо их приведены углы и конусности специального назначения и в том числе широко распространенные конусы инструментов Морзе с конусностью, близкой к 1 : 20, и размерами, определенными номерами от 0 до 6.

В современных станках с ЧПУ применяют конусы с конусностью 7 : 24, дающие точное центрирование и легкое разделение сопряженных деталей.

*Допуски углов конусов* делятся на две группы:

допуски углов конусов с конусностью менее 1 : 3 задаются в миллиметрах, обозначаются  $AT_D$  и выбираются в зависимости от длины образующей конуса  $L$ ;

допуски углов конусов с конусностью больше 1 : 3 задаются в миллиметрах, обозначаются  $AT_h$  и выбираются в зависимости от длины меньшей стороны угла конуса.

### § 6.3. Гладкие конические соединения

**Основные параметры.** Гладкие конические соединения получают сопряжением двух деталей — наружного конуса (вала) с внутренним конусом (отверстием). Деталь с конической поверхностью является сложной деталью с несколькими важными параметрами, выполняющими определенную роль при сопряжении деталей гладкого конического соединения.

Основными параметрами конуса по ГОСТ 25548—82 являются (рис. 6.1):

**основание конуса** — круг, образованный пересечением конической поверхности с плоскостью, перпендикулярной оси конуса и ограничивающей его в осевом направлении. Различают большое основание конуса (с большим диаметром) и малое основание конуса (с меньшим диаметром);

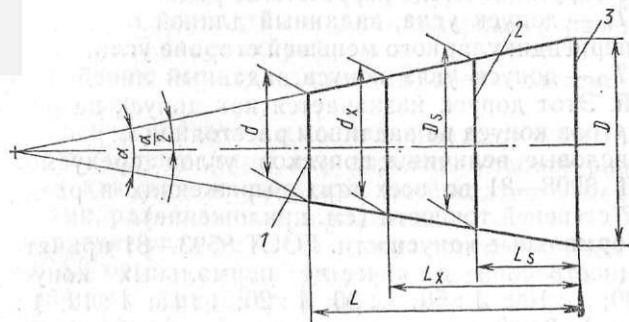


Рис. 6.1. Параметры конуса

**базовая плоскость конуса** — плоскость, перпендикулярная оси конуса и служащая для определения осевого положения основания конуса;

**базорасстояние конуса** — расстояние между основной и базовой плоскостями конуса;

**диаметры конуса:** диаметр  $D$  большого основания конуса и диаметр  $d$  малого основания конуса, наружный конус имеет  $D_{в}$  и  $d_{в}$ , а внутренний  $D_{д}$  и  $d_{д}$ ; диаметры конусов задаются в миллиметрах;

**угол конуса**  $\alpha$  (угол между образующими конуса или угол при вершине) и угол уклона  $\alpha/2$  (угол между образующей и осью конуса); углы задаются в градусах;

**длина конуса**  $L$  — расстояние между основаниями конуса, в которых расположены диаметры  $D$  и  $d$  данного конуса; длина конуса задается в миллиметрах;

**конусность**  $C$  — отношение разности диаметров конуса  $D-d$  к длине конуса  $L$ ,  $C=(D-d)/L$  или  $C=2\text{tg}(\alpha/2)$ ; конусность задается в виде отношения 1 :  $L$ , например  $C=1 : 10$  означает, что на длине конуса  $L=10$  мм разность диаметров конуса  $D-d=1$  мм.

**Посадки и типы конических соединений.** Гладкое коническое соединение характеризуется конической посадкой и базорасстоянием этого соединения. Конические посадки, так же как цилиндрические, различаются по

характеру сопряжения поверхностей наружного и внутреннего конусов. *Базорасстоянием* конического соединения называется осевое расстояние между базовыми (чаще всего торцовыми) поверхностями сопрягаемых конусов.

*Конические посадки* по способам фиксации разделяются на следующие:

1. Посадки, полученные совмещением конструктивных элементов соединяемых конусов, например доведением «встык» торцовых поверхностей (рис. 6.2, а). Здесь наружный конус вводится во внутренний до упора торцами и посадка получается в зависимости от остальных размеров конических элементов соединяемых деталей. Посадки могут быть получены таким способом с зазором, переходные и с натягом.

2. Посадки, полученные выполнением заданного расстояния  $Z_{pf}$  между базовыми плоскостями соединяемых конусов (рис. 6.2, б). Здесь наружный конус вводится во внутренний до получения заданного расстояния между базами и фиксируется в этом положении. Посадки получаются разные в зависимости от остальных размеров конических элементов соединяемых конусов, они могут быть с зазорами, переходными или с натягами.

3. Посадки, полученные заданным осевым смещением  $E_a$  сопрягаемых конусов от их начального положения (рис. 6.2, в). Здесь наружный конус  $3$  вводится во внутренний  $1$  до касания конических поверхностей, а затем один из конусов сдвигается на заданное расстояние  $E_a$  и фиксируется в новом положении  $2(4)$ . Посадка зависит от величины и направления перемещения. Этим способом преимущественно получают посадки с зазором или с натягом.

4. Посадки, полученные приложением заданного усилия запрессовки наружного конуса во внутренний. Здесь конусные детали соединяются запрессовкой с измерением силы сопротивления, возникающей при сборке конического соединения, и эту силу доводят до заданной величины. Величина натяга в посадке в этом случае зависит от величины приложенной силы.

Деталь с коническим элементом является в обработке сложной деталью с несколькими параметрами и при изготовлении реальной конической детали возникают различные отклонения от номинального конуса по его параметрам. ГОСТ 25307—82 устанавливает следующие допуски для конусов:

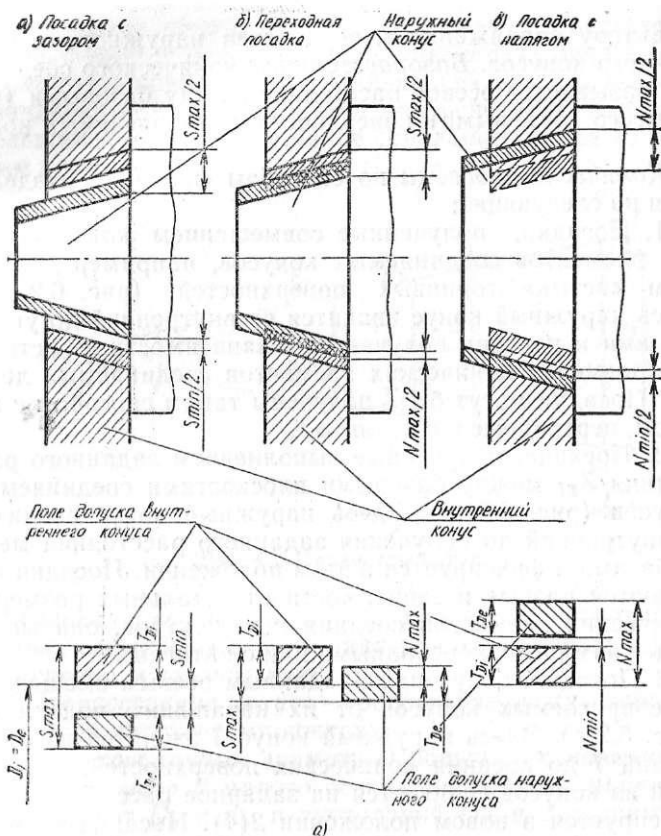


Рис. 6.2. Посадки конусов:

*а* — полученные совмещением конструктивных элементов, *б* — полученные фиксацией заданного осевого расстояния между базовыми плоскостями, *в* — полученные фиксацией заданного взаимного осевого смещения от начального положения

допуск  $T_{\alpha}$  диаметра конуса в любом сечении;  
 допуск  $T_{DS}$  диаметра конуса в заданном сечении;  
 допуск угла конуса  $AT$ ;  
 допуск формы конуса, включающий в себя допуск круглости  $T_{FR}$  и допуск прямолинейности образующей  $T_{FL}$ .

Обозначения гладких конических соединений на чертежах проставляются в соответствии с ЕСКД по ГОСТ 2.320—82;

1. При посадке с фиксацией путем совмещения конст-



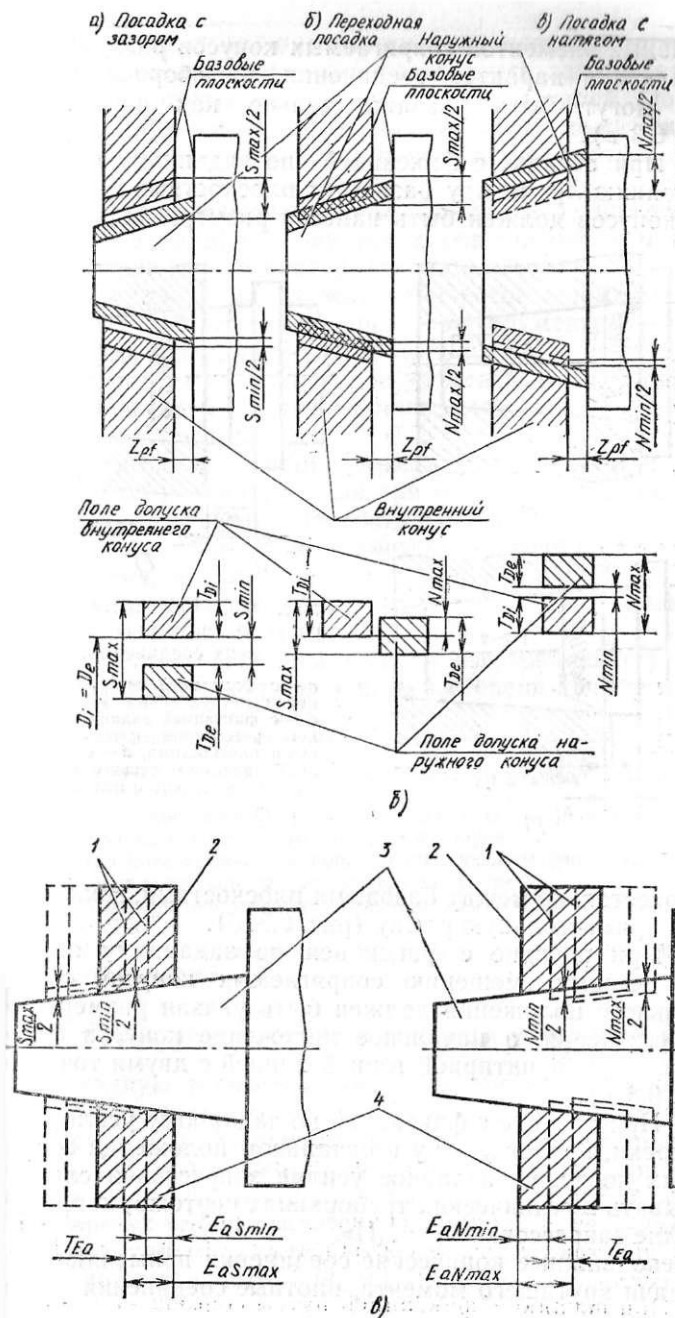


Рис. 6.2. Продолжение

руктивных элементов сопрягаемых конусов размеры, определяющие характер соединения, на сборочном чертеже могут быть указаны только как справочные (рис. 6.3, а).

2. При посадке с фиксацией по заданному осевому расстоянию  $Z_{pf}$  между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов должен быть нанесен размер, определяю

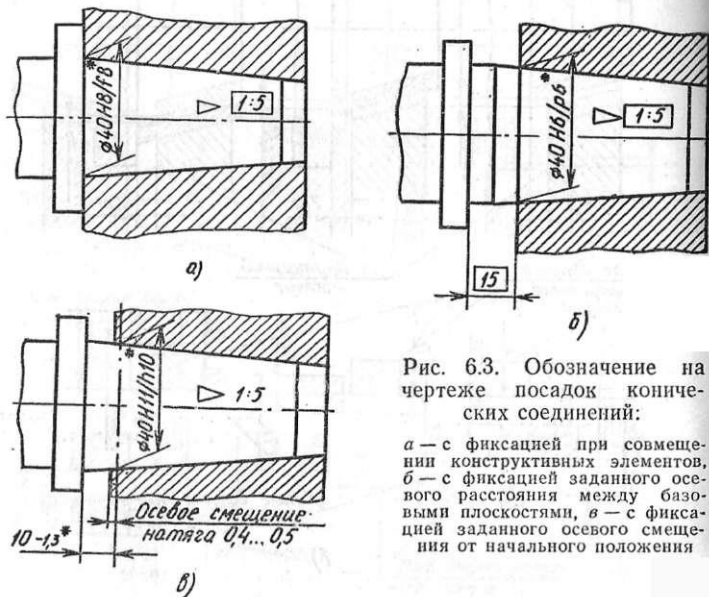


Рис. 6.3. Обозначение на чертеже посадок конических соединений:

а — с фиксацией при совмещении конструктивных элементов, б — с фиксацией заданного осевого расстояния между базовыми плоскостями, в — с фиксацией заданного осевого смещения от начального положения

щий расстояние между базовыми плоскостями, заключенный в прямоугольную рамку (рис. 6.3, б).

3. При посадке с фиксацией по заданному взаимному осевому смещению сопрягаемых конусов от их начального положения должен быть указан размер осевого смещения, а начальное положение конусов отмечаться штрихпунктирной тонкой линией с двумя точками (рис. 6.3, в).

4. При посадке с фиксацией по заданному усилию запрессовки, прилагаемому в начальном положении сопрягаемых конусов, заданное усилие запрессовки следует указывать в технических требованиях чертежа, например «Усилие запрессовки  $F_S = \dots Н$ ».

Неподвижные конические соединения применяют для передачи крутящего момента, плотные соединения — для

газоводомаслонепроницаемости и для центрирования, подвижные соединения — для постоянного зазора, регулируемого за счет осевого перемещения деталей. По мере износа сопрягаемых поверхностей зазор может восстанавливаться за счет осевого перемещения деталей соединения.

**Инструментальные конусы.** Одним из распространенных видов гладких конических соединений в машиностроении являются инструментальные конусы. В них наружными конусами служат конические элементы хвостовиков обрабатывающих инструментов, — сверл, разверток, зенкеров, фрез, центров и т. п., а внутренними конусами служат конические элементы отверстий базирующих деталей станков — шпинделей, оправок, пинолей задних бабок и т. п.

По построению сопрягаемых поверхностей конусы инструментов разделяются на три основные системы:

конусы Морзе — конусность близка к  $1:20$ ;

конусы метрические — конусность точно равна  $1:20$  у всех номеров системы;

конусы инструментов к станкам с ЧПУ и к обрабатывающим центрам — конусность  $7:24$ .

Все инструментальные конусы изготавливают с угловыми размерами с допуском по 6-й степени точности.

#### Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности углов и их обозначения.
2. Что такое допуск угла и его обозначения?
3. Что такое допуски углов конусов и их обозначения?
4. Перечислите основные параметры конуса.
5. Назовите конические посадки по способам фиксации.
6. Какие установлены допуски для конусов?
7. Прочтите обозначения гладких конических соединений на чертеже.
8. Что такое инструментальные конусы и какие применяют системы этих конусов?

#### § 6.4. Средства измерения и контроля углов и конусов

Исходную точность выполнения угловых размеров обеспечивают угловые меры. *Угловые меры* — это меры, воспроизводящие единицу измерения угла в градусах. Промышленность выпускает наборы угловых призматических мер — плиток с градацией через  $2^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $1'$  и  $15''$ , в наборе 93 угловые плитки с номинальными углами до  $90^\circ$ . По точности угла угловые плитки изготавливают четырех классов точности — 00, 0, 1 и 2, например допуск угла

меры 1-го класса точности равен  $\pm 10''$ . По форме угловые плитки изготовляют в виде пластин с измерительными доведенными поверхностями, расположенными под острым углом, со срезанной вершиной и четырехугольные (рис. 6.4). Плитки снабжены монтажными отверстиями для собирания в блоки с помощью струбцин, при этом могут быть блоки из двух или из трех плиток. С угловыми плитками применяют лекальную линейку и специальную струбцину для собирания из линейки и угловой меры угла, дополнительного до  $180^\circ$ .

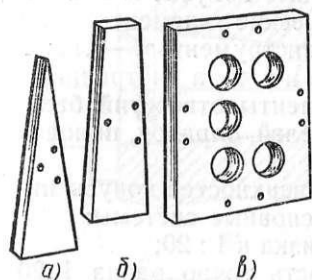


Рис. 6.4. Угловые меры-плитки:

*a* — с острой вершиной, *б* — со срезанной вершиной, *в* — четырехугольная плитка

Кроме изложенных угловых мер-плиток применяют угловые меры шестигранные и многогранные с углами более  $90^\circ$ .

Для измерения отклонений от перпендикулярности, т. е. от угла  $90^\circ$ , в машиностроении широко применяют угольники.

Угольником называют жесткое, бесшкальное средство для контроля годности прямого угла (рис. 6.5), имеющее наружный и внутренний рабочие углы.

Угольником называют жесткое, бесшкальное средство для контроля годности прямого угла (рис. 6.5), имеющее наружный и внутренний рабочие углы.

Угольники применяют следующих типов: УП — угольник плоский, УШ — угольник с широким основанием; УЛШ — угольник с широким основанием и лекальными вертикальными ребрами. Для контроля углов угольников применяют угловую лекальную плитку УЛ.

Угольниками пользуются и для измерения отклонений от перпендикулярности поверхностей деталей в линейных

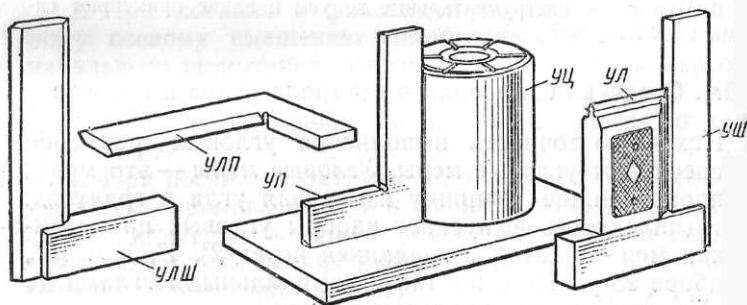


Рис. 6.5. Угольники

единицах, используя оценку «на просвет» или по шупам.

**Угломеры с нониусом.** Для измерения углов в угловых единицах применяют угломеры. Угломером называют средство измерения углов, в котором угол отсчитывается по угловой шкале с помощью углового нониуса. В машиностроении наиболее распространены угломеры универсальный и транспортирный, изготавливаемые отечественной промышленностью.

Универсальный угломер (рис. 6.6) имеет основание 7 со шкалой, зажим 4 и сектор 3 с нониусом 8. Цена де-

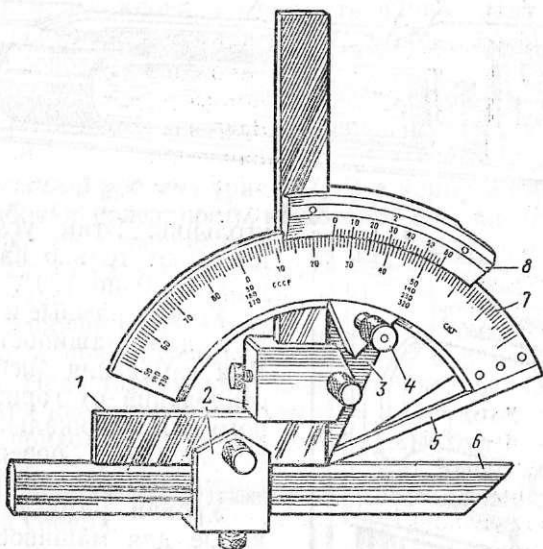


Рис. 6.6. Угломер универсальный

ления шкалы  $1^\circ$ , а величина отсчета по нониусу  $2'$ . К поверхностям измеряемой детали прикладываются измерительные поверхности угломера, расположенные на основной линейке 5 и съемной линейке 6 (при измерениях наружных углов детали от  $0$  до  $50^\circ$ ). Если требуется измерить наружные углы от  $50$  до  $180^\circ$  или внутренние углы от  $130$  до  $180^\circ$ , то пользуются угломером со съемным угольником 1. Если же нужно измерить внутренние углы от  $40$  до  $130^\circ$ , то применяют угломер без линейки 6 и угольника 1.

Показания угломера в градусах отсчитывают по шкале основания, а в минутах — по шкале нониуса. Порядок

отсчета тот же, что и по шкале и нониусу штангенинструментов.

*Транспортный угломер* имеет то же основание с угловой шкалой с ценой деления  $1^\circ$  и угловую шкалу нониуса с величиной отсчета  $2'$ . На выступающей подвижной линейке этого угломера укрепляется дополнительный



Рис. 6.7. Уровни брусковый (а) и рамный (б)

угольник. Этим угломером измеряют только наружные углы от  $0$  до  $180^\circ$ .

**Уровни рамные и бруско-вые для машиностроения.** Для измерения небольших отклонений от горизонтального или вертикального расположения поверхностей применяют уровни.

Уровни рамные и бруско-вые для машиностроения состоят из основания-корпуса 1 и двух ампул со стеклянными корпусами 4 (рис. 6.7). Ампула — это стеклянная трубка, залитая (не полностью) быстротекучей жидкостью 5 (обычно это этиловый эфир). Свободная от жидкости часть объема заполнена парами эфира и видна через стенку ампулы как удлиненный пузырек 6. Внутренняя поверхность ампулы в верхней части имеет криволинейный участок с большим радиусом кривизны.

Например, ампула с ценой деления  $0,02$  мм/м имеет радиус кривизны  $103,1$  м.

В корпус уровня вмонтированы две ампулы — основная 3 и установочная 2. Основная ампула имеет отсчет-

ную шкалу с большим числом делений, а установочная имеет шкалу всего из четырех штрихов, по ним не считают отклонений, а только следят, чтобы при установке уровня на измеряемую поверхность пузырек в этой ампуле находился в середине шкалы, т. е. уровень не был наклонен на бок. Поэтому ампулы расположены перпендикулярно друг другу. Определять угол наклона по шкале основной ампулы можно только при правильном расположении уровня на плоскости, показываемом установочной ампулой.

Величина наклона поверхности равна числу делений шкалы основной ампулы уровня, умноженному на цену деления основной ампулы.

Уровни рамные и брусковые для машиностроения изготавливают с ценой деления основной ампулы от 0,02 до 0,15 мм/м.

*Брусковый уровень* (рис. 6.7, а) в корпусе имеет нижнюю рабочую поверхность, на которой есть плоскость для установки на плоскую поверхность детали и призматическая выемка для установки на цилиндрическую поверхность детали. *Рамный уровень* (рис. 6.7, б) имеет все четыре рабочие поверхности, три из них снабжены и плоскостью, и призматической выемкой, а одна не имеет выемки. Недостатком ампульных уровней является значительная инерционность пузырька, из-за которой исполнителю приходится ожидать, пока можно будет отсчитать показание. Неудобно также и то, что для выполнения отсчета исполнитель должен располагаться над основной ампулой уровня.

Современным средством измерения углов наклона поверхностей, свободным от перечисленных недостатков, является *электронный уровень*, состоящий из индуктивного преобразователя 1 и электронного блока 2 (рис. 6.8), соединенных кабелем. В преобразователе 1 имеются две катушки, между которыми подвешен маятник-якорь. При установке преобразователя на наклонную поверхность маятник-якорь отклоняется от вертикали и в катушках возникает разность индуктивностей, которая подается по кабелю в электронный блок 2. Там она обрабатывается и поступает на табло 3 цифровой индикации, лампы которого показывают величину угла наклона в угловых секундах.

Электронный уровень модели 128 устанавливается на «0» по образцово-горизонтальной поверхности с помо-

щью кнопки смещения 7, при наблюдении за стрелкой индикатора нулевой установки 4.

Для ускорения измерения применяют успокоитель 6, уменьшающий амплитуду качания маятника-якоря.

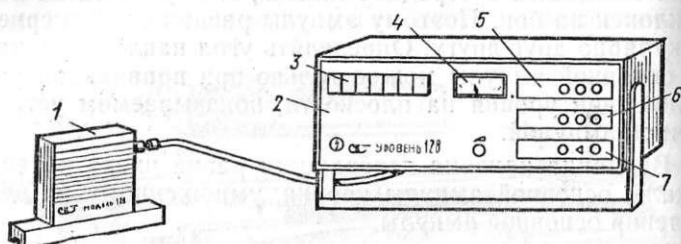


Рис. 6.8. Электронный уровень

В зависимости от требуемой точности измерения угла наклона клавишами 5 устанавливают разные диапазоны измерения с разными наименьшими величинами отсчета в угловых секундах.

Основные параметры электронного уровня модели 128 (в угловых с):

Наименьшая величина отсчета	1	2	5
Диапазоны измерения	$\pm 1000$ ;	$\pm 2000$ ;	$\pm 5000$
Погрешность нулевой установки	$\pm 2$		

**Калибры для конусов инструментов.** Эти калибры являются средствами для комплексного контроля годности конусов инструментов, сопрягаемых в гладком коническом соединении. Для контроля внутренних конусов инструментов (шпинделей, пинолей и т. п.) применяют калибры-пробки, а для контроля наружных конусов инструментов (хвостовиков сверл, разверток и т. п.) применяют калибры-втулки. По конструкции эти калибры, так же как и сами конусы инструментов, изготовляют двух типов: калибры с лапками (рис. 6.9, а) и калибры без лапок (рис. 6.9, б).

Учитывая высокую трудность изготовления и контроля внутренней конической поверхности калибра-втулки с требуемой точностью и отсутствие средств измерения конических внутренних отверстий такой точности, калибры-



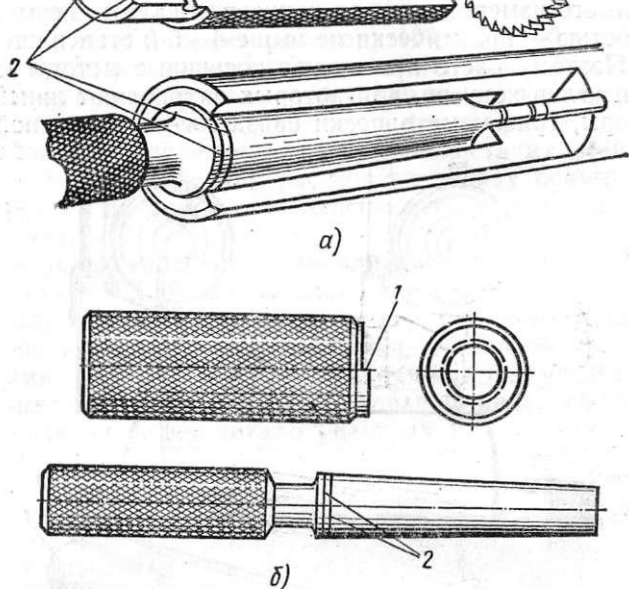


Рис. 6.9. Калибры для конусов инструментов

штулки чаще всего контролируются контрольными калибрами-пробками. К партии калибров-штулок при их выпуске из производства на инструментальном заводе прикладывают контрольные калибры-пробки.

Калибры для конусов инструментов имеют точный угол конуса и малую шероховатость измерительной поверхности. На этой поверхности у калибров-пробок в сечении диаметра  $D$  большого основания конуса нанесена кольцевая риска (2 на рис. 6.9). На расстоянии  $l$ , соответствующем допуску на базорасстояние внутреннего контролируемого конуса в сторону большего диаметра, нанесена вторая кольцевая риска. Калибр-штулка имеет передний торец с отверстием, диаметр которого равен диаметру  $D$  большого основания контролируемого наружного конуса. В заднем торце калибра-штулки, в который выходит меньший размер конического отверстия, выполнен уступ  $l$ , высота которого  $l$  равна соответствующему

ющему допуску базорасстояния контролируемого наружного конуса (так же как и расстояние между рисками калибра-пробки).

**Синусная линейка.** Перечисленные методы контроля и прямого измерения углов конусов обладают невысокой точностью — практически не выше 4—5-й степени точности. Поэтому часто применяют косвенные методы измерения углов конусов, при которых определяют линейные размеры, тригонометрически связанные с величиной уг-

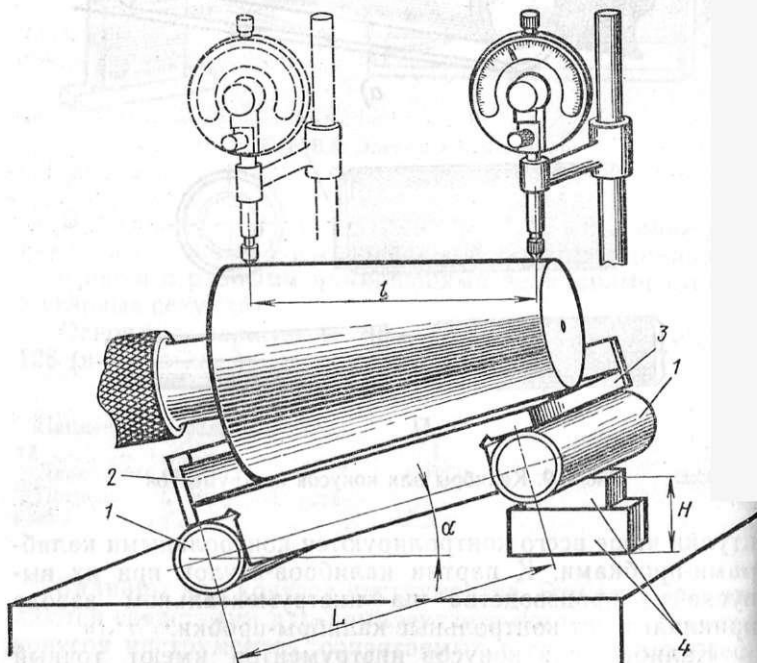


Рис. 6.10. Измерение угла наружного конуса с помощью синусной линейки

лов. Широко распространен метод измерения угла конуса на синусной линейке.

Основанием синусной линейки является плита (рис. 6.10) с укрепленными на ней двумя роликами, она состоит из столика 3, имеющего плоскую измерительную поверхность, и укрепленных снизу в призматических выемках столика измерительных роликов 1. К столику крепятся с торца и с боков упорные планки 2 для опоры

базовых торцов измеряемых конусов. Ролики имеют точную цилиндрическую форму поверхности и установлены параллельно друг другу. Номинальное расстояние между их осями кратно 100 мм.

Синусные линейки изготавливают с размерами (расстоянием между осями роликов) 100, 200, 300 и 500 мм. Чтобы судить о точности изготовления этого средства измерения, присмотритесь к допускам на его изготовление: разность диаметров и отклонение формы роликов не более 2 мкм, отклонение от параллельности их осей — не более 3—5 мкм, допуск расстояния между осями роликов — от 3 до 5 мкм (в зависимости от размера самой линейки).

Синусные линейки устанавливают на заданный угол по блоку КМД 4; высота блока  $h = L \sin \alpha$ .

Синусные линейки изготавливают трех типов: тип I — без опорной плиты; тип II — с опорной плитой; тип III — с двумя опорными плитами и двумя наклонными. Каждый из этих типов может быть изготовлен с центровыми бабками для установки детали в центрах.

#### Контрольные вопросы

1. Какие существуют угловые меры, их типы и применение?
2. Что такое угольники, их типы и применение?
3. Как устроены угломеры с нониусом? Каковы их типы, отсчет по угловому нониусу?
4. Какие есть типы для уровней машиностроения, их назначение, цена деления?
5. Опишите калибры для конусов инструментов и контролируемые ими элементы деталей.

## ГЛАВА 7. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РЕЗЬБЫ

### § 7.1. Основные термины и определения

*Профиль резьбы* — это контур сечения винтовой поверхности плоскостью, проходящей через ось резьбы. По фигуре профиля резьбы делят на треугольные, трапециевидальные, упорные, круглые и прямоугольные.

Резьба, полученная на наружной цилиндрической поверхности, называется наружной резьбой (условно — болт), а полученная во внутренней цилиндрической поверхности — внутренней резьбой (условно — гайка, рис. 7.1).

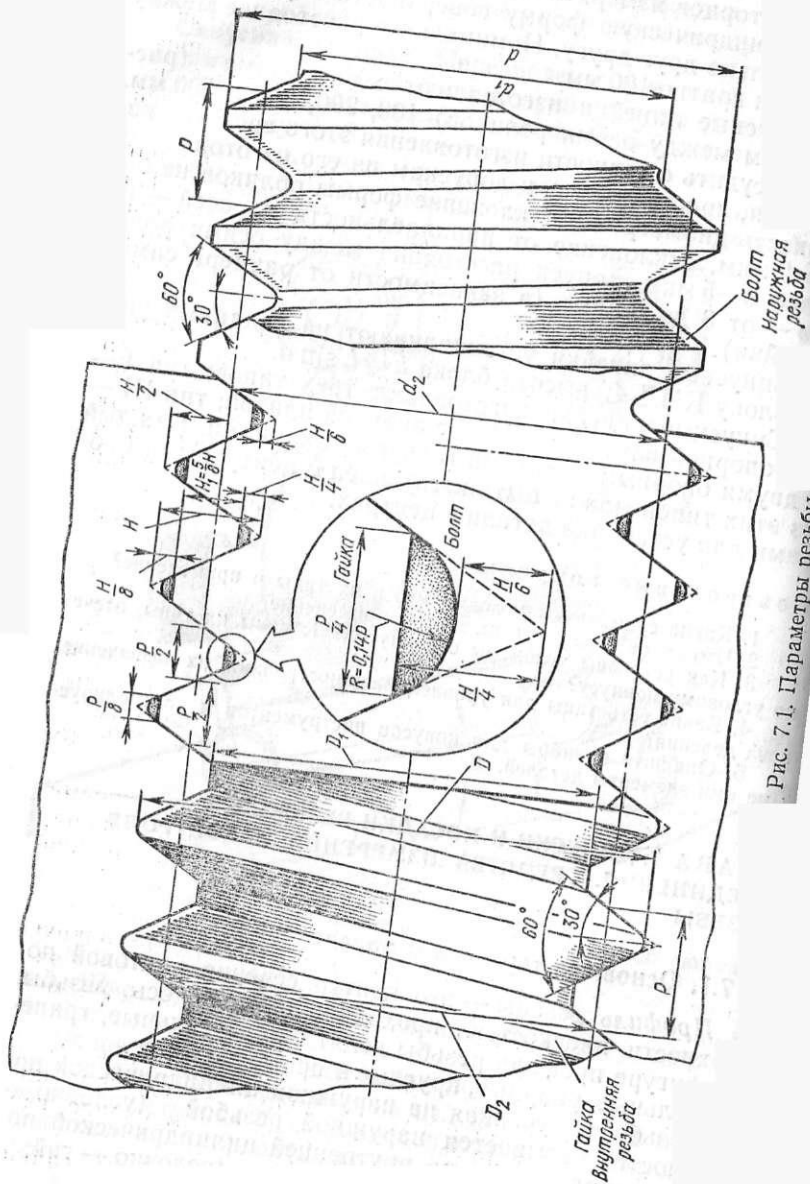


Рис. 7.1. Параметры резьбы

*Резьбовым соединением* называется соединение по резьбе двух деталей — одна с наружной, а другая с внутренней резьбой (болт свинчен с гайкой). Резьбовые соединения по назначению разделяются на крепежные — укрепляющие отдельные детали машины, кинематические — преобразующие вращение в осевое движение деталей, трубные — для герметического соединения деталей трубопровода.

По единице измерения линейных размеров различают резьбы, измеряемые в миллиметрах и дюймах. На рис. 7.1 показано резьбовое соединение с метрической резьбой, справа размещена свободная часть резьбы болта, слева — разрез гайки, а в середине — разрез резьбового соединения болта с гайкой.

**Параметры метрической резьбы.** Профиль метрической резьбы представляет собой ряд треугольников со срезанной вершиной. Основными параметрами метрической резьбы являются (рис. 7.1): шаг резьбы  $P$ , угол профиля  $\alpha$ , диаметры резьбы — наружный, средний и внутренний: у болта наружный  $d$ , средний  $d_2$ , внутренний  $d_1$ ; у гайки наружный  $D$ , средний  $D_2$ , внутренний  $D_1$ .

Рассмотрим подробнее, что собой представляет каждый из этих параметров:

*шаг резьбы  $P$*  — это расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами витков профиля, расположенное параллельно оси резьбы; метрические цилиндрические резьбы имеют крупные и мелкие шаги (в зависимости от соотношения величины шага и номинального диаметра резьбы: крупный шаг от 0,25 до 6 мм — при диаметрах от 1 до 68 мм, мелкий шаг от 0,25 до 6 мм — при диаметрах от 1 до 600 мм);

*угол профиля резьбы  $\alpha$*  — это угол между боковыми сторонами профиля в осевой плоскости, иначе говоря,  $\alpha$  — это угол между боковыми сторонами одной канавки или одного витка;

*наружный диаметр резьбы* — у болта  $d$ , у гайки  $D$  — это диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной или впадин внутренней резьбы. Размер наружного диаметра является номинальным размером данной резьбы;

*средний диаметр резьбы* — у болта  $d_2$ , у гайки  $D_2$  — это диаметр воображаемого цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы на таком уровне, где ширина канавки равна ширине витка;

*внутренний диаметр резьбы* — у болта  $d_1$ , у гайки

$D_1$  — это диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной или выступы внутренней резьбы.

В машиностроении вместо угла профиля  $\alpha$  применяют половину угла профиля  $\alpha/2$ .

### § 7.2. Основы взаимозаменяемости метрической резьбы

При разработке и внедрении взаимозаменяемости в машиностроении изучение резьбы показало, что для решения этого вопроса нужно воспользоваться тем, что шаг  $P$ , угол профиля  $\alpha/2$  и средний диаметр резьбы  $d_2$  геометрически связаны и отклонения  $P$  и  $\alpha/2$  можно исправить (компенсировать) за счет уменьшения среднего диаметра болта или увеличения среднего диаметра гайки.

Рассмотрим рис. 7.2, а. Если размеры среднего диаметра у гайки и у болта равны, но угол  $\alpha$  болта больше

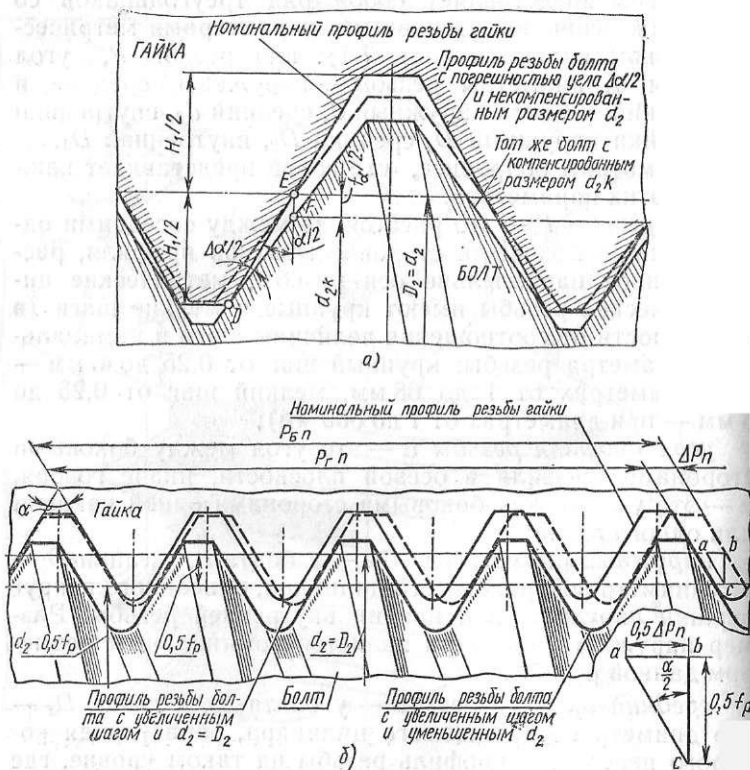


Рис. 7.2. Компенсация за счет среднего диаметра:  
 $a$  — погрешности половины угла профиля,  $b$  — погрешности шага

угла  $\alpha$  гайки, то болт не может свинтиться с гайкой. Однако если мы у того же болта уменьшим средний диаметр на величину  $f_\alpha$  (на рис. 7.2, а показано  $f_{\alpha/2}$ ), то видно, что болт ввинтится в гайку. Такая поправка (компенсация)  $f_\alpha = 0,36 P \delta(\alpha/2)$ , где  $P$  — шаг резьбы, мм;  $\delta(\alpha/2)$  — отклонение половины угла в мин, а поправка (компенсация)  $f_{\alpha/2}$  получается в мкм.

На рис. 7.2, б показано, как за счет такого же уменьшения среднего диаметра, при наличии отклонения шага резьбы, можно достичь свинчивания резьбового соединения: если средние диаметры болта и гайки равны, но шаг  $P$  у них имеет разные отклонения, то резьба их на всю длину свинтиться не может. Дело в том, что на длине свинчивания сопрягаются несколько витков вдоль оси и ошибка одного шага  $\Delta P$  прибавляется к другой и превращается в суммарную (накопленную) ошибку  $\delta P = \Delta P n$ , где  $\Delta P$  — отклонение одного шага (разность шагов болта и гайки);  $n$  — число шагов на длине свинчивания. Если же уменьшить средний диаметр болта (компенсировать его) на величину  $f_p$ , то уменьшенный болт ввинтится в гайку на всю длину свинчивания. Для метрической резьбы  $f_p = 1,732 \delta P$ .

На производстве изготовление реальной резьбы происходит с отклонениями как по половине угла профиля  $\alpha/2$ , так и по шагу  $P$ , поэтому для создания свинчивания приходится компенсировать за счет среднего диаметра оба эти отклонения на их сумму  $f_\Sigma = f_p + f_{\alpha/2}$ . На рис. 7.3 показано, как болт с компенсированным средним диаметром ввинтился в теоретически точную гайку (не имеющую отклонения), несмотря на имеющиеся у его резьбы отклонения по шагу и половине угла профиля.

В рассмотренных случаях мы упрощали положение, полагая безупречной резьбу то гайки, то болта. Разумеется, что в реальном производстве отклонения получатся и в резьбе болта, и в резьбе гайки. Как же будет обеспечено их свинчивание на сборке? Рассмотрим еще раз рис. 7.3. На нем видно, что в теоретически точную гайку ввинтился реальный болт с размером резьбы, состоящим из собственно среднего диаметра  $d_2$  и суммы диаметральных компенсаций  $f_\Sigma = f_p + f_{\alpha/2}$ .

Такой суммарный размер резьбы называется *приведенным средним диаметром* для реального болта:  $d_{\text{прив}} = d_2 + (f_p + f_{\alpha/2})$ , а для реальной гайки, очевидно,  $D_{\text{прив}} = D_2 - (f_p + f_{\alpha/2})$ .

Свинчиваемость реальных болта и гайки на сборке

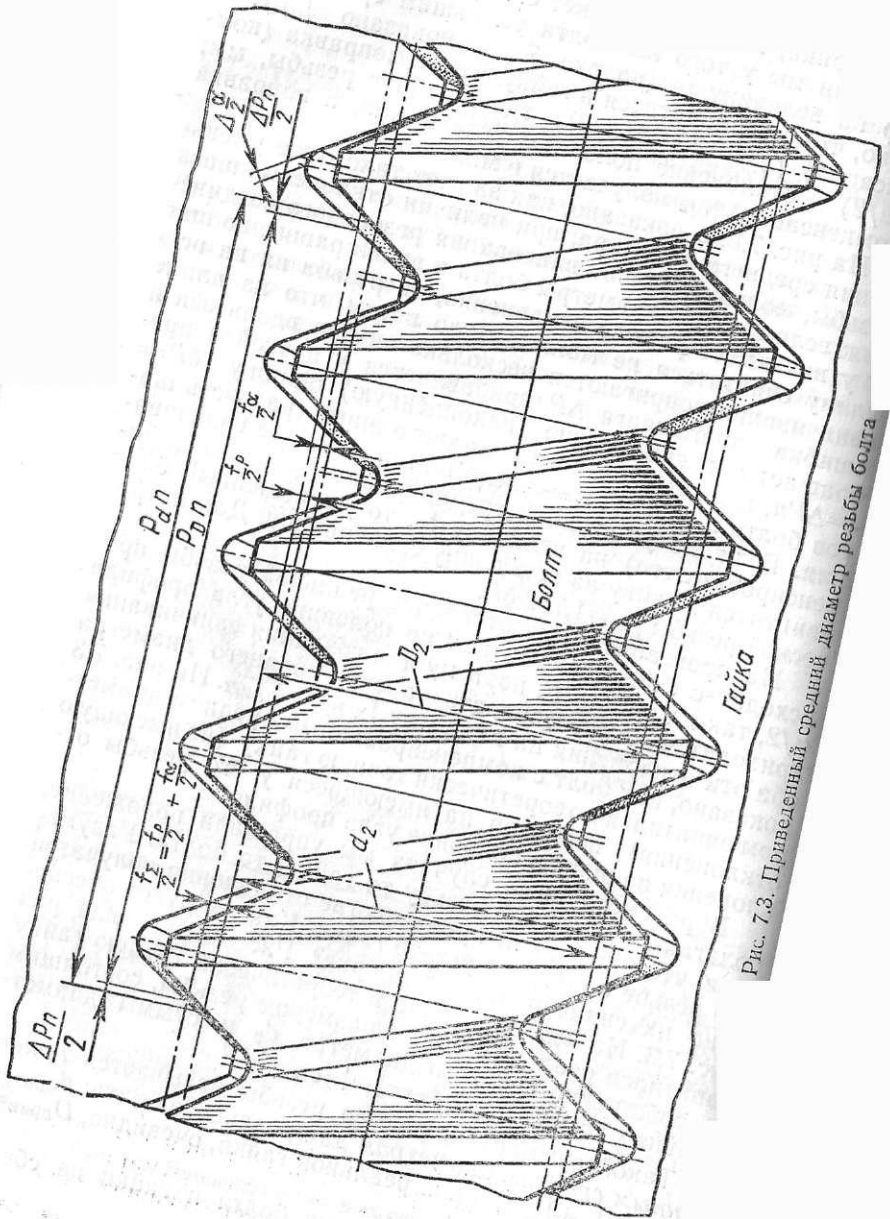


Рис. 7.3. Приведенный средний диаметр резьбы болта



обеспечивается тем, что допуск среднего диаметра их резьб назначается как допуск приведенного среднего диаметра каждой из них, а тем самым предусматривается допустимая погрешность самого среднего диаметра и допустимая величина погрешностей шага и половины угла профиля, которые должны быть компенсированы величиной среднего диаметра.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите параметры метрической резьбы и их обозначения.
2. Что такое диаметральная компенсация погрешностей шага и половины угла профиля резьбы?
3. Что такое приведенный средний диаметр резьбы?

### § 7.3. Допуски и посадки метрических крепежных резьб

Структура построения допусков резьбы аналогична структуре допусков гладких цилиндрических соединений. В резьбовых соединениях тоже назначаются основные отклонения, они обозначаются буквами латинского алфавита — прописными для отклонений гаек и строчными для отклонений болтов. Величины допусков назначаются в зависимости от размеров номинального диаметра и шага резьбы. Они расположены в ряды допусков, которые называются степенями точности, аналогично квалитетам в гладких соединениях. Сочетания основных отклонений и допусков образуют поля допусков размеров резьбы.

В построениях допусков гладких и резьбовых соединений имеются различия. В допусках резьбы введен *номинальный профиль* метрической резьбы (рис. 7.4, а), параметры которого установлены ГОСТ 9150—81. Этот профиль определяет исходные размеры наружного, среднего и внутреннего диаметров резьбы и теоретическую высоту витка  $H$ , а также высоту витка  $H_1$ , получаемую за вычетом двух глубин закругления впадин. Эти размеры определяют по таблицам ГОСТ 9150—81 в зависимости от величины шага  $P$  и номинального диаметра  $d$  данной резьбы.

Основные отклонения и поля допусков диаметров резьбы откладываются от размеров номинального профиля.

Допуски метрических крепежных резьб установлены рядом ГОСТов, в которых назначены допуски среднего диаметра болта  $Td_2$  и гайки  $Td_2$ . Это суммарные допуски, включающие в себя и допуск собственного среднего

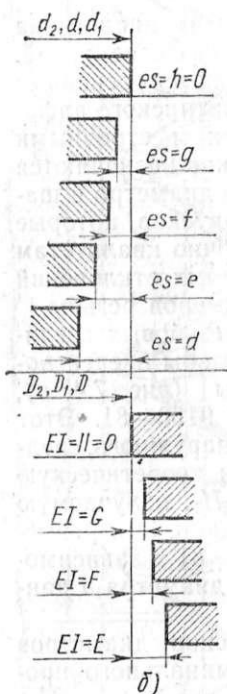
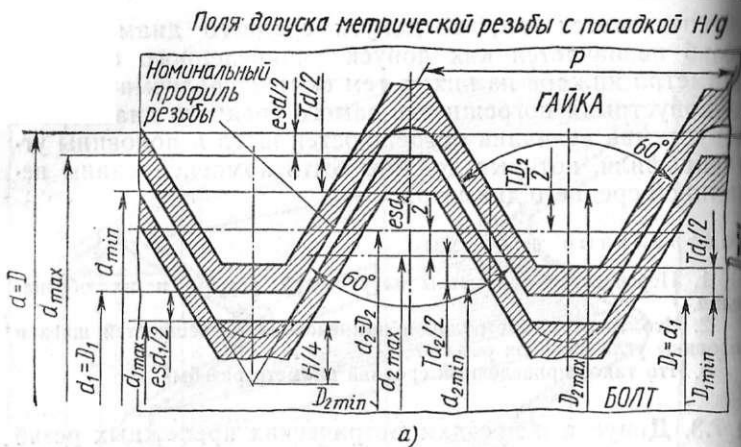


Рис. 7.4. Допуски метрической резьбы: а — соединение с зазором, б — поля допусков посадок резьбы с зазором

диаметра, и компенсации допустимых отклонений шага  $P$  и половины угла профиля  $\alpha/2$  (допуски шага и половины угла профиля отдельно не предусмотрены).

В стандартах назначены также допуски наружного диаметра болта  $Td$  и внутреннего диаметра гайки  $TD_1$ . Допуски внутреннего диаметра болта  $d_1$  и наружного диаметра гайки  $D$  не назначаются. При нарезании резьбы требуется только обеспечение правильного угла профиля  $\alpha$  по всей стороне витка или впадины до начала закругления дна впадины.

Все эти допуски находят в таблицах ГОСТов отклонений:  $es$  и  $ei$  — соответственно верхнего и нижнего отклонений болта и  $ES$  и  $EI$  — верхнего и нижнего отклонений гайки.

**Посадки метрической крепежной резьбы.** Для метрической крепежной резьбы предусмотрены три группы посадок: посадки с зазором по ГОСТ 16093—81, посадки переходные по ГОСТ 24834—81 и посадки с натягом по ГОСТ 4608—81.

Наибольшее распространение имеют крепежные резьбы, сопрягаемые в посадках с зазором, поэтому мы рассмотрим подробно ГОСТ 16093—81.

Стандарт устанавливает основные отклонения диаметров резьбы с обозначениями: для болтов —  $h, g, f, e, d$ , для гаек —  $H, G, E, F$ .

Величины допусков диаметров резьбы установлены в следующих степенях точности:

		Допуски:	Степени
наружного диаметра	резьбы болта	. . . . .	4, 6 и 8
среднего	» » »	. . . . .	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
внутреннего	» » »	. . . . .	4, 5, 6, 7 и 8
среднего	» » »	. . . . .	4, 5, 6, 7, 8 и 9

Поля допусков диаметров резьбы образуются в комплексе из степени точности (величины допуска) и основного отклонения, а поэтому обозначаются спереди цифрой (степень точности) и на втором месте буквой (основное отклонение), например  $6h$ ;  $8g$ ;  $7H$  (рис. 7.4, б).

Поле допуска резьбы детали (болта или гайки) обозначается четырьмя знаками — для среднего диаметра и для диаметра выступа (наружного диаметра болта или внутреннего диаметра гайки); сначала пишется обозначение поля допуска среднего диаметра, а затем поле допуска диаметра выступа. Например, болт  $6g7h$  — это значит, что у этого болта допуск среднего диаметра 6-й степени точности и основное отклонение  $g$ , а допуск наружного диаметра — 7-й степени точности и основное отклонение  $h$ . Если обозначение поля допуска среднего диаметра совпадает с обозначением поля допуска диаметра выступа, то ставится одно (единое) обозначение поля допуска резьбы, например  $6g$ .

ГОСТ 16093—81 устанавливает три группы длин свинчивания — нормальные длины  $N$ , большие длины  $L$  и малые длины  $S$ . Допуск резьбы, если нет особых указаний, относится к нормальной длине свинчивания  $N$ .

Для сопоставления резьб по точности все поля допусков болтов и гаек разделены на три условных класса точности: точные резьбы, средние и грубые.

Применяемость разных посадок с зазором, разумеется, различная, но наиболее применяемой считается посадка  $6g6H$  среднего класса точности (см. рис. 7.4).

**Обозначения резьбовых соединений на чертежах.** Обозначение резьбы показывает вид резьбы, номиналь-

ный диаметр, шаг (если резьба с мелким шагом), направление резьбы (если она левая), поля допусков и длину свинчивания (если она не  $N$ ). На чертеже может встретиться развернутое и короткое обозначение резьбы деталей:

развернутое: болт  $M24 \times 2LH-7g6h-18$ , гайка  $M24 \times 2LH-5H6H-18$ . Читается так: резьба метрическая  $d=24$  мм,  $P=2$  мм, левая, поле допуска резьбы болта  $7g6h$ , поле допуска резьбы гайки  $5H6H$ , длина свинчивания большая (не нормальная) — 18 мм;

короткое: болт  $M24-6g$ , гайка —  $M24-5H$ , на сборочном чертеже  $M24-5H/6g$ . Читается так, резьба метрическая  $d=24$  мм,  $P=3$  мм, правая, поле допуска резьбы болта  $6g$  (степени точности и основное отклонение  $d$  и  $d_2$  резьбы болта одинаковы), поле допуска резьбы гайки  $5H$  (степени точности и основное отклонение  $D_2$  и  $D_1$  одинаковы), длина свинчивания нормальная  $N$ .

Пример. Расчет предельных размеров крепежной метрической резьбы болта и гайки. Резьба  $M20-6H/6g$  (см. рис. 7.4, а). Поле допуска резьбы болта  $6g$  — поле допуска  $d$  и  $d_2-6g$ . Поле допуска резьбы гайки  $6H$  — поле допуска  $D_2$  и  $D_1-6H$ . По табл. 12 находим параметры номинального профиля резьбы  $M20$ :  $d$  и  $D=20,000$  мм;  $P=2,5$  мм. По той же таблице находим для  $d=20$  мм и  $P=2,5$  мм размеры  $d_2=D_2$  и  $d_1=D_1$ . Находим размеры  $d_2$  и  $d_1$ ;  $d_2=D_2=d-2+0,376=18,376$ ;  $d_1=D_1=d-3+0,294=17,294$ .

## 12. Параметры номинального профиля (среднего и внутреннего диаметров) метрической резьбы по ГОСТ 9150—81

Шаг резьбы, $P$ , мм	Диаметры резьбы (болт и гайка)	
	средний диаметр $d_2 = D_2$	внутренний диаметр $d_1 = D_1$
1	$d - 1 + 0,350$	$d - 2 + 0,917$
1,25	$d - 1 + 0,188$	$d - 2 + 0,647$
1,5	$d - 1 + 0,026$	$d - 2 + 0,376$
1,75	$d - 2 + 0,863$	$d - 2 + 0,106$
2	$d - 2 + 0,701$	$d - 3 + 0,835$
2,5	$d - 2 + 0,376$	$d - 3 + 0,294$
3	$d - 2 + 0,051$	$d - 4 + 0,752$
3,5	$d - 3 + 0,727$	$d - 4 + 0,211$
4	$d - 3 + 0,402$	$d - 5 + 0,670$

Теперь эти размеры являются номинальными (исходными) для отсчета предельных отклонений и получения предельных размеров диаметров резьбы болта и гайки  $M20-6g6H$  резьбового соединения  $M20$  с зазором  $6 \times 6H$ .

По табл. 13 находим предельные отклонения  $es$  и  $ei$  размеров болта и подсчитываем предельные размеры болта. Наибольший раз-

наружного диаметра болта  $d_{max} = d - es = 20,00 - 0,042 = 19,958$  мм. Наименьший размер наружного диаметра болта  $d_{min} = d - ei = 20,00 - 0,377 = 19,623$  мм. Наибольший размер среднего диаметра болта  $d_{2max} = d_2 - es = 18,376 - 0,042 = 18,334$  мм. Наименьший размер среднего диаметра болта  $d_{2min} = d_2 - ei = 18,376 - 0,212 = 18,164$  мм. Наибольший размер внутреннего диаметра болта  $d_{1max} = d_1 - es = 17,294 - 0,042 = 17,252$  мм. Наименьший размер внутреннего диаметра болта  $d_{1min}$  — не нормируется.

По табл. 14 находим предельные отклонения  $ES$  и  $EJ$  размеров гайки и подсчитываем предельные размеры гайки. Наибольший размер наружного диаметра гайки  $D_{max}$  — не нормируется. Наименьший размер наружного диаметра гайки  $D_{min} = D + EJ = 20,00 + 0 = 20,00$  мм. Наибольший размер среднего диаметра гайки  $D_{2max} = D_2 + ES = 18,376 + 0,224 = 18,600$  мм. Наименьший размер среднего диаметра гайки  $D_{2min} = D_2 + EJ = 18,376 + 0 = 18,376$  мм. Наибольший размер внутреннего диаметра гайки  $D_{1max} = D_1 + ES = 17,294 + 0,450 = 17,744$  мм. Наименьший размер внутреннего диаметра гайки  $D_1 = D_1 + EJ = 17,294 + 0 = 17,294$  мм.

**Посадки метрических крепежных резьб с натягами и переходные.** Такие посадки применяются для соединений стальных шпилек, ввертываемых в отверстия с крепежной резьбой, нарезанной в стенках корпусов. Корпуса могут быть изготовлены из стали, чугуна или из алюминиевых сплавов.

Натяги в резьбе здесь необходимы потому, что такие соединения работают в условиях постоянных сотрясений, при часто меняющейся температуре эксплуатации машины и т. п.

Переходные посадки при сборке не гарантируют наличия натяга, поэтому в конструкции деталей, соединяющихся с такими посадками, предусматриваются дополнительные элементы для заклинивания по коническому сбегу резьбы или по плоскому бурту или по цилиндрической цапфе (рис. 7.5).

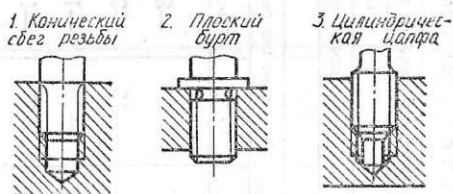


Рис. 7.5. Конструктивные элементы для заклинивания деталей, соединяемых резьбой с переходными посадками

## Контрольные вопросы

1. Что такое номинальный профиль резьбы и что он определяет?
2. На какие параметры метрической резьбы назначены допуски, а на какие нет?
3. Опишите поля допусков диаметров метрической резьбы. Из чего они образуются?

13. Отклонения метрических резьб с зазорами по ГОСТ 16093—81

		Поля допусков наружной резьбы с основными отклонениями											
		$5h/4h$	$6h$	$6g$	$8g$	Отклонения, мкм							
Номинальный диаметр резьбы $d$ , мм	Шаг резьбы $P$ , мм	$es$	$ei$	$es$	$ei$	$d$	$d_2$	$d$	$d, d_2$	$d_1, d_2$	$d$	$d, d_2, d_1$	$d_2$
		Диаметры резьбы, мм											
Св. 5,6 до 11,2	0,25	-50	-42	-63	-67	-18	-81	-85	-	-	-	-	-
	0,35	-56	-53	-71	-85	-19	-90	-104	-	-	-	-	-
	0,5	-67	-67	-85	-106	-20	-105	-126	-	-	-	-	-
	0,75	-80	-90	-100	-140	-22	-122	-162	-	-	-	-	-
	1	-90	-112	-112	-180	-26	-138	-206	-26	-26	-206	-26	-206
	1,25	-95	-132	-118	-212	-28	-146	-240	-28	-28	-240	-28	-218
1,5	-106	-150	-132	-236	-32	-164	-268	-32	-32	-268	-32	-244	
Св. 11,2 до 22,4	0,35	-60	-53	-75	-85	-19	-94	-104	-	-	-	-	-
	0,5	-71	-67	-90	-106	-20	-110	-126	-	-	-	-	-
	0,75	-85	-90	-106	-140	-22	-128	-162	-	-	-	-	-

1	-95	-112	-118	-180	-26	-144	-206	-25	-240	-28	-256	-270	-288	-307
1,25	-106	-132	-132	-212	-28	-160	-240	-28	-240	-28	-268	-299	-318	-377
1,5	-112	-150	-140	-236	-32	-172	-268	-32	-268	-32	-268	-299	-318	-377
1,75	-118	-170	-150	-265	-34	-184	-299	-34	-299	-34	-299	-299	-318	-377
2	-125	-180	-160	-280	-38	-198	-318	-38	-318	-38	-268	-299	-318	-377
2,5	-132	-212	-170	-335	-42	-212	-377	-42	-377	-42	-268	-299	-318	-377
0,5	-75	-67	-95	-106	-20	-115	-126	-	-126	-	-206	-206	-268	-226
0,75	-90	-90	-112	-140	-22	-134	-162	-	-162	-	-206	-206	-268	-268
1	-100	-112	-125	-180	-26	-151	-206	-26	-206	-26	-268	-268	-268	-268
1,5	-118	-150	-150	-236	-32	-182	-268	-32	-268	-32	-268	-268	-268	-268
2	-132	-180	-170	-280	-38	-208	-318	-38	-318	-38	-268	-268	-268	-268
3	-160	-236	-200	-375	-48	-248	-423	-43	-423	-43	-268	-268	-268	-268
3,5	-170	-265	-212	-425	-53	-265	-478	-53	-478	-53	-268	-268	-268	-268
4	-180	-300	-224	-475	-60	-284	-535	-60	-535	-60	-268	-268	-268	-268
4,5	-190	-315	-236	-500	-63	-299	-563	-63	-563	-63	-268	-268	-268	-268

Св. 22,4  
до 45

Номинальный диаметр резьбы $D$ , мм		Шаг резьбы $P$ , мм		Поля допусков внутренней резьбы с основными отклонениями							
				6H		7G		ES			
				$D_2$	$D_1$	$D, D_2, D_1$	$D_2$	$D_2$	$ES$		
Св. 5,6 до 11,2				+85	+71	—	—	—	—	—	
				+95	+100	—	—	—	—	—	—
				+112	+140	+20	+160	+2	+2	+2	
				+132	+190	+22	+192	+2	+2	+2	
				+150	+236	+26	+216	+3	+3	+3	
				+160	+265	+28	+228	+3	+3	+3	
				+180	+300	+32	+256	+4	+4	+4	
				+100	+100	—	—	—	—	—	
				+118	+140	+20	+170	+2	+2	+2	
				+140	+190	+22	+202	+2	+2	+2	
Св. 11,2 до 22,4				+100	+100	—	—	—	—	—	
				+118	+140	+20	+170	+2	+2	+2	
				+140	+190	+22	+202	+2	+2	+2	



1	+160	+236	+26	+226
1,25	+180	+265	+28	+252
1,5	+190	+300	+32	+268
1,75	+200	+335	+34	+284
2	+212	+375	+38	+303
2,5	+224	+450	+42	+322
0,5	+125	+140	—	—
0,75	+150	+190	+22	+212
1	+170	+236	+26	+238
1,5	+200	+300	+32	+282
2	+224	+375	+38	+318
3	+265	+500	+48	+383
3,5	+280	+560	+53	+408
4	+300	+600	+60	+435
4,5	+315	+670	+63	+463

Св. 22,4 до 45

4. Какие существуют посадки метрических резьбовых соединений?

5. Прочитайте условное обозначение (полное) резьбового соединения. Что в нем обозначено?

## § 7.4. Средства контроля и измерения резьбы

**Калибры для цилиндрических резьб.** Калибры для контроля годности цилиндрических резьб действуют как комплект жестких средств, выполняющих контроль годности резьбы. Преимущество их в том, что они обеспечивают полную взаимозаменяемость резьбы свинчиваемых деталей.

Такие калибры разделяются на две основные группы — калибры для *наружной* и *внутренней* резьбы. По принципу построения это предельные калибры, а значит они разделяются на *проходные* и *непроходные*, каждый из которых контролирует свой предел поля допуска.

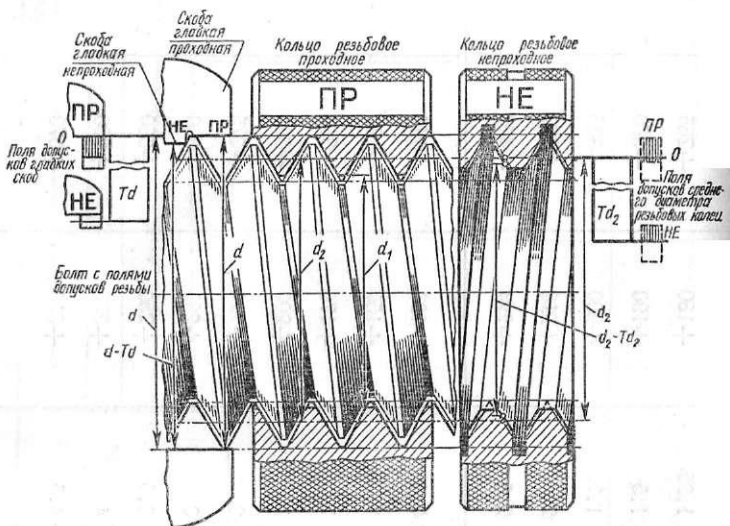


Рис. 7.6. Калибры для контроля резьбы болта

По форме поверхности они разделяются на *резьбовые* и *гладкие*. У резьбовых проходных калибров — полный профиль витков резьбы, а у резьбовых непроходных — укороченный (рис. 7.6). Резьба с полным профилем проходного калибра имеет контур номинального

профиля и параметры, выполненные с высокой точностью.

Укороченный профиль резьбы уменьшен по высоте винтовой поверхности витка и соприкасается с резьбой детали только по  $1/3$  высоты ее винтовой поверхности. Поэтому отклонения  $\alpha/2$  резьбы детали не мешают ее свинчиванию с калибром, имеющим резьбу с укороченным профилем. Кроме этого, число витков резьбы с укороченным профилем не больше 2—2,5, а значит длина свинчивания резьбы детали с резьбой непроходного калибра настолько мала, что и отклонение шага резьбы детали на свинчивание с таким калибром не влияет. В итоге получается, что непроходной калибр благодаря своей резьбе с укороченным профилем воспринимает (контролирует) только размер среднего диаметра (собственного).

Контроль годности резьбы деталей резьбового соединения выполняется двумя комплектами калибров.

*А. Комплект калибров для наружной резьбы (болтов):*

1. Резьбовой проходной калибр-кольцо ПР (рис. 7.6). Профиль резьбы полный; контролирует комплексно наибольший приведенный средний диаметр  $d_{прив}$  и одновременно  $d_{нб}$  (наибольший внутренний диаметр болта). Болт годен, если этот калибр ПР свободно навинчивается на него.

2. Резьбовой непроходной калибр-кольцо НЕ (рис. 7.6). Профиль резьбы укороченный; контролирует дифференцированно  $d_{зм}$  (наименьший средний собственный диаметр болта). Болт годен, если этот калибр НЕ навинчивается на него не более чем на два оборота.

3. Гладкий непроходной калибр-скоба НЕ (рис. 7.6). Контролирует  $d_{нб}$  (наибольший наружный диаметр болта). Болт годен, если этот калибр-скоба ПР проходит через него под действием собственного веса.

4. Гладкий непроходной калибр-скоба НЕ (рис. 7.6). Контролирует  $d_{зм}$  (наименьший наружный диаметр болта). Болт годен, если этот калибр-скоба НЕ не проходит через него под действием собственного веса.

*Б. Комплект калибров для внутренней резьбы (гаек):*

1. Резьбовой проходной калибр-пробка ПР (рис. 7.7). Профиль резьбы полный; контролирует комплексно наименьший приведенный средний диаметр  $D_{прив}$  и од-

новременно  $D_{\text{нм}}$  (наименьший наружный диаметр гайки). Гайка годна, если этот калибр ПР свободно ввинчивается в нее.

2. Резьбовой непроходной калибр-пробка НЕ (рис. 7.7). Профиль резьбы укороченный; контролирует дифференцированно  $D_{2\text{нб}}$  (наибольший средний собственный диаметр гайки). Гайка годна, если этот калибр НЕ ввинчивается в него не более чем на два оборота.

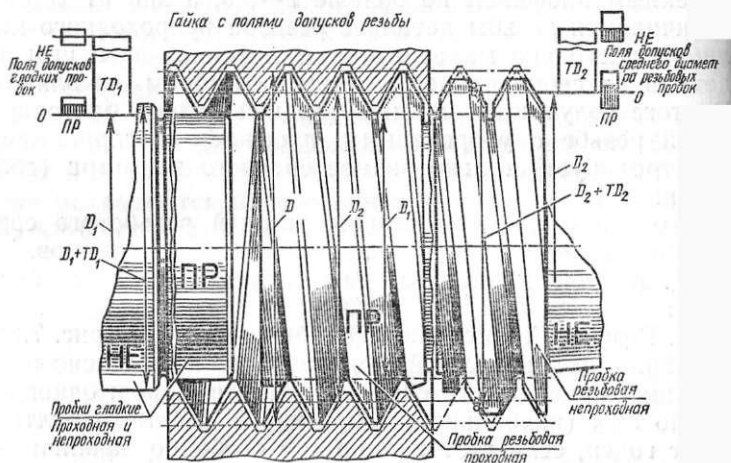


Рис. 7.7. Калибры для контроля резьбы гайки

3. Гладкий проходной калибр-пробка ПР. Контролирует  $D_{1\text{нм}}$  (наименьший внутренний диаметр гайки). Гайка годна, если этот калибр-пробка ПР свободно входит в нее под действием собственного веса.

4. Гладкий непроходной калибр-пробка НЕ. Контролирует  $D_{1\text{нб}}$  (наибольший внутренний диаметр гайки). Гайка годна, если этот калибр-пробка НЕ входит в нее не более чем на один шаг ее резьбы.

Размеры калибров для цилиндрических резьб изготовляются в пределах полей допусков этих калибров (см. рис. 7.6 и 7.7). Особенность этих полей допусков состоит в том, что для непроходных резьбовых колец и пробок предусмотрены, кроме полей допусков на изготовление, еще и *поля допусков на износ*. Это сделано потому, что резьбовые непроходные калибры могут свинчиваться с контролируемой резьбой до двух оборотов (гладкие непроходные калибры для гладких ци-

цилиндрических соединений допусков на износ не имеют, так как в изделие входить не должны).

Принято калибры для контроля изделий называть *рабочими калибрами*, а калибры для контроля самих калибров — *контрольными калибрами*.

Годность рабочих калибров для цилиндрических резьб контролируют следующими средствами:

1. Резьбовые калибры-кольца ПР: новые при изготовлении — контрольным калибром-пробкой КПР-ПР (читается: для контроля проходного — проходной) и контрольным калибром-пробкой КПР-НЕ (читается: для контроля проходного — непроходной); новые при эксплуатации и изношенные — контрольным калибром-пробкой К-И (для контроля износа проходного).

2. Резьбовые калибры-кольца НЕ: новые — контрольным калибром-пробкой КНЕ-ПР (читается: для контроля непроходного — проходной) и контрольным калибром-пробкой КНЕ-НЕ (читается: для контроля непроходного — непроходной); изношенные — контрольным калибром-пробкой КИ-НЕ (для контроля износа непроходного).

3. Резьбовые калибры-пробки для контроля внутренней резьбы (гаек) имеют допуски всех параметров своей резьбы и эти параметры измеряются (контролируются) универсальными средствами измерения, обладающими соответствующей точностью. Контрольных калибров для них не применяют.

Калибры для цилиндрических резьб маркируют, нанося знаки на торцах пробок, колец и нерабочих поверхностях скоб. В состав маркировки калибра для контроля резьбы входят: вид калибра (ПР, КПР-ПР, НЕ и т. д.), вид контролируемой резьбы, степень ее точности и основное отклонение, например ПР—М24-5Н (при коротком обозначении).

**Средства измерения параметров резьбы.** Для измерений среднего диаметра резьбы пользуются определением, в котором средним диаметром резьбы считают расстояние между параллельными сторонами витков, расположенных по разные стороны оси резьбы, и измеренное перпендикулярно оси резьбы (см. рис. 7.1).

Распространенным средством измерения среднего диаметра резьбы в машиностроении является *микрометр со вставками* (его часто называют резьбовой микрометр, рис. 7.8). Этот микрометр отличается от гладкого микрометра МК тем, что в торцах его микро-

винта и пятки выполнены отверстия, в которые помещаются вставки. В микрометр обычно ставят коническую вставку 1, а в пятку — призматическую 2. Когда микрометр охватывает вставками реальную резьбу, коническая вставка входит во впадину, а призматическая вставка охватывает виток. В этом положении отсчет по шкалам

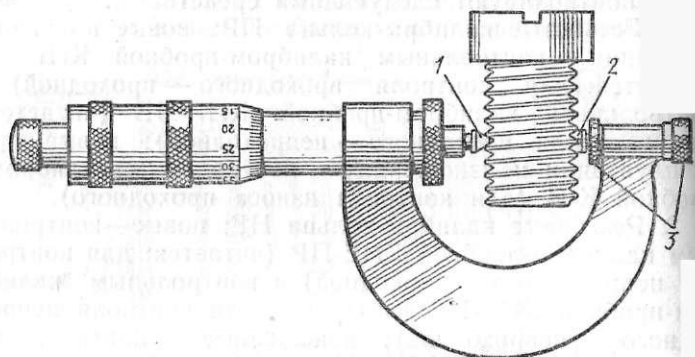


Рис. 7.8. Микрометр со вставками при измерении среднего диаметра резьбы болта

стебля и барабана дает нам размер среднего диаметра измеряемой детали. Микрометр со вставками имеет цену деления  $c=0,01$  мм. Диапазон измерения 25 мм, а пределы измерения 0—25; 25—50 и т. д. до 325—350 мм.

Микрометр от 0 до 25 мм устанавливается на «0» гайками 3 вместе со вставками, сведенными в упор, а микрометры для измерения размеров больше 25 мм устанавливаются на нижний предел измерения по прилагаемой к каждому микрометру установочной мере. Вставки для измерения среднего диаметра резьбы прилагаются к каждому микрометру парами: коническая и призматическая. Размер измерительных поверхностей каждой пары зависит от шага резьбы.

Погрешность измерения микрометром со вставками довольно велика — она зависит от погрешности шага измеряемой резьбы и от отклонения половины угла ее профиля  $\alpha/2$ , так как эти погрешности сдвигают измерительную ось микрометра от перпендикуляра к оси измеряемой резьбы. Из-за этого сдвига микрометр измеряет средний диаметр в искаженном направлении. Численно погрешность измерения составляет от 0,025 до 0,20 мм.

Измерение среднего диаметра резьбы с использованием проволочек осуществляется значительно точнее, чем микрометром со вставками (рис. 7.9). На схеме показан пример измерения с помощью трех проволочек (возможно измерение с двумя или даже с одной проволочкой). Размер проволочки подбирается так, чтобы образующие проволочки касались винтовой поверхности

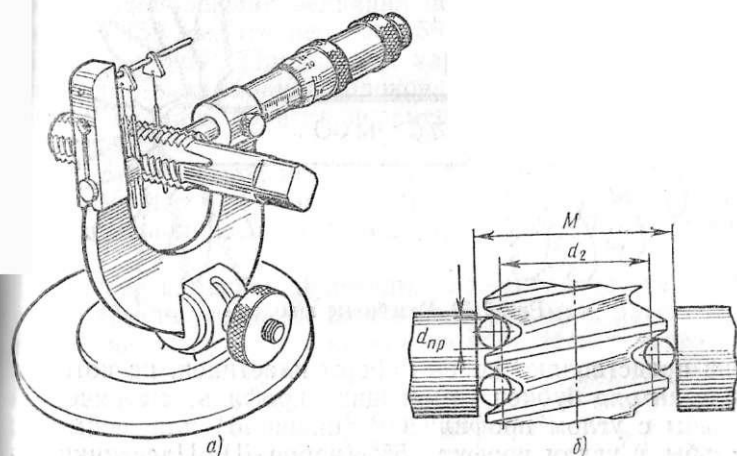


Рис. 7.9. Измерение среднего диаметра резьбы метчика с помощью трех проволочек (а) и схема измерения (б)

резьбы в зоне собственно среднего диаметра резьбы  $d_2$ . Наибольший диаметр проволочки для метрической резьбы равен  $d_{пр} = 0,577 P$ . Пересчет с размера  $M$  на размер среднего диаметра  $d_2$  для метрической резьбы производят по формуле  $d_2 = M - 1,438 d_{пр}$  (метод измерения является косвенным).

Проволочки для измерения среднего диаметра резьбы изготавливает инструментальная промышленность, выпуская их комплектами из 3 шт. Номинальные размеры проволочек зависят от шага и составляют от 0,101 до 3,464 мм для метрической резьбы. Предельные отклонения диаметра проволочек от номинального размера  $\pm 0,5$  мкм. Отклонения формы находятся в пределах допуска размера проволочек. В особенности строго контролируется огранка поверхности проволочки.

Погрешность измерения среднего диаметра с использованием трех проволочек невелика, например на горизонтальном оптиметре она составляет 1,5—2 мкм. Сред-

ний диаметр резьбы калибров-пробок рабочих и контрольных измеряется только с помощью трех проволочек.

Величину шага  $P$  и половину угла профиля  $\alpha/2$  резьбы определяют, как правило, бесконтактными измерениями. Наиболее простым из средств, применяемых для этой цели, являются *резьбовые шаблоны* (рис. 7.10).

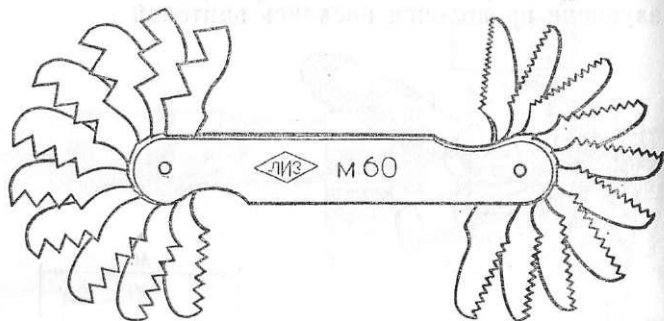


Рис. 7.10. Резьбовые шаблоны

Они представляют собой наборы пластинок, на которых нарезан ряд зубцов, имеющих профиль метрической резьбы с углом профиля  $60^\circ$  (набор М) или дюймовой резьбы, с углом профиля  $55^\circ$  (набор Д). Пластинки отличаются друг от друга размером зубцов и расстоянием между ними, соответствующими шагам резьбы.

### § 7.5. Инструментальный измерительный микроскоп

Многолетний опыт в машиностроении и инструментальной промышленности показал, что определение размеров и отклонений шага и половины угла профиля резьбы достаточно надежно (с допустимой погрешностью) осуществляется бесконтактным измерением на инструментальном микроскопе. Оптическая промышленность нашей страны изготавливает инструментальные микроскопы большой и малой модели.

*Большой инструментальный микроскоп (БМИ)* имеет не только большие размеры, но он более универсален, чем малый инструментальный микроскоп (ММИ). На рис. 7.11, а изображен БМИ одной из наиболее распространенных моделей. Прибор имеет основание 20, на котором расположен стол 17 с верхней площадкой, имеющей предметное стекло 16. Стол 17 может перемещаться по основанию 20 на продольной каретке 23 и поперечной

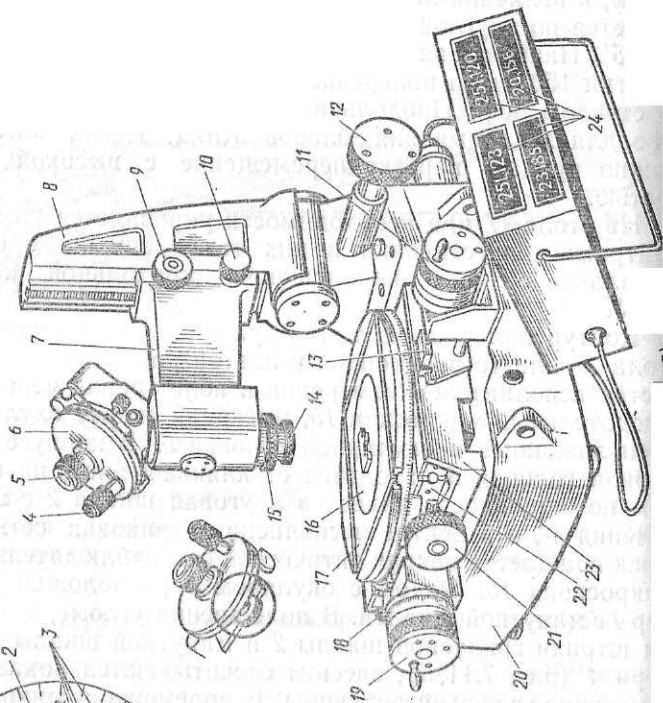
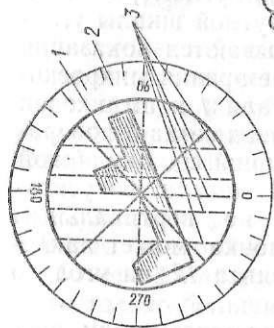


кадетке 22, а верхняя площадка с предметным стеклом может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Величина линейных перемещений кареток 23 и 22 отсчитывается по микропарам 11 и 19 с ценой деления 5 мкм или по окнам цифровой индикации 24 с ценой деления 1 мкм, а величина поворота площадки со стеклом отсчитывается по круглой шкале и угловому нониусу с отсчетом 5'. Наибольшая величина перемещения продольной каретки 150 мм, а поперечной 50 мм; поворот площадки со стеклом 360°. Продольная каретка 23 имеет устройство для закладывания блоков КМД, меняя которые можно придать каретке перемещение с высокой точностью.

На столе 17 при необходимости укрепляется рамка с центрами для установки в них тел вращения с осью, параллельной оси перемещения продольной каретки 23.

Контур измеряемой детали, уложенной на стекло 16 стола 17 или установленной в центра рамки, рассматривается исполнителем измерения в поле зрения через наблюдательный микроскоп 15, имеющий сверху окуляр 5, расположенный в окулярной головке 6. В корпусе окулярной головки 6 находится стеклянный диск, на котором по окружности нанесена круговая шкала 2 с ценой деления 1°, а в центре выполнена штриховая сетка 3. Диск вращается вокруг оптической оси наблюдательного микроскопа 15. Рядом с окуляром 5 расположен угломер 4 с минутной шкалой. В поле зрения угломера 4 видны штрихи градусной шкалы 2 и минутной шкалы угломера 4 (рис. 7.11, б), здесь и отсчитываются показания измеренной угловой величины. В поле зрения микроскопа 15 и окуляра 5 видны контур детали 1 и штриховая сетка 3. Градусная шкала 2 и штриховая сетка 3 поворачиваются вместе ручкой, расположенной на окулярной головке 6. Контур рассматриваемой детали фокусируется перемещением кронштейна 7 по вертикальным направляющим колонки 8. Эта колонка может наклоняться в обе стороны поворотом винта 12 на угол до  $\pm 15^\circ$ .

Оптическая схема БМИ освещается осветителем, расположенным в основании 20. Свет подается снизу сквозь стекло 16 стола 17, проходит через линзы микроскопа 15 и окуляра 5 и попадает в глаз исполнителя. При этом исполнителю в поле зрения видны изображение контура измеряемой детали 1 и штриховая сетка 3.



a)

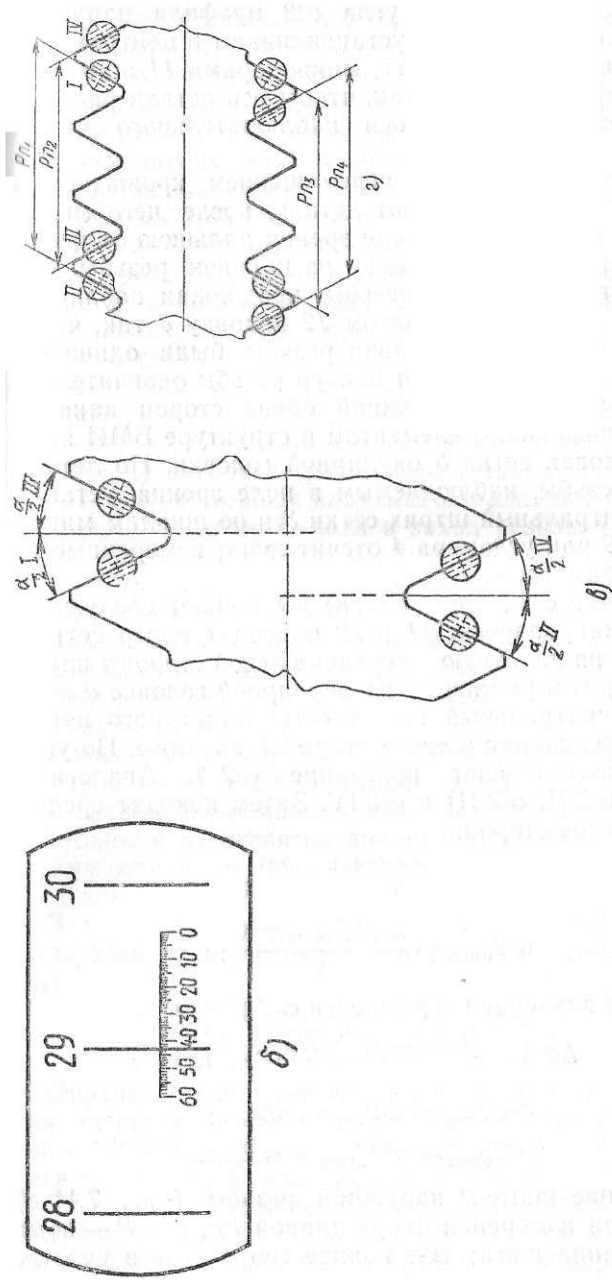


Рис. 7.11. Большой инструментальный микроскоп БМИ:

*a* — общий вид, *б* — отсчет показания по углумеру, *в* — схема измерения половины угла профиля резьбы, *г* — схема измерения шага резьбы

**Измерение половины угла  $\alpha/2$  профиля наружной резьбы.** Деталь с резьбой устанавливают в центрах рамки, укрепленной на столе 17, микропарами 11 и 19 перемещают каретки 23 и 22 так, чтобы ось детали расположить вблизи оптической оси наблюдательного микроскопа 15.

Наблюдая в окуляр 5, перемещением кронштейна 7 предварительно фокусируют деталь, после чего микропарами 11 и 19 ставят в поле зрения дальнюю от исполнителя сторону резьбы и одну из канавок резьбы. При больших углах подъема резьбы, продолжая наблюдать в окуляр 5, наклоняют винтом 12 колонку 8 так, чтобы обе стороны профиля канавки резьбы были одинаково четко видны, и фокусируют контур резьбы окончательно, т. е. до полной четкости линий обеих сторон канавки.

Воспринимающим элементом в структуре БМИ является штриховая сетка 3 окулярной головки. По линиям профиля резьбы, наблюдаемым в поле зрения, устанавливают центральный штрих сетки 3 и по шкалам микропар 11 и 19 или угломера 4 отсчитывают измеренные величины параметров детали.

Измерение  $\alpha/2$  I (рис. 7.11, в) выполняют следующим образом: микропарами 11 и 19 подводят центр сетки 3 в поле зрения вплотную к середине левой стороны впадины и поворотом ролика 25 на окулярной головке 6 поворачивают центральный штрих сетки 3 до строго параллельного положения с левой стороной впадины. По угломеру 4 отсчитывают показание  $\alpha/2$  I. Аналогично измеряют  $\alpha/2$  II,  $\alpha/2$  III и  $\alpha/2$  IV. Затем находят среднее значение углов сторон:

$$\alpha/2_{\text{лев}} = \frac{\alpha/2 \text{ I} + \alpha/2 \text{ II}}{2};$$

$$\alpha/2_{\text{прав}} = \frac{\alpha/2 \text{ III} + \alpha/2 \text{ IV}}{2};$$

Среднее значение погрешности  $\alpha/2$  равно

$$\Delta\alpha/2 = \frac{\Delta\alpha/2_{\text{лев}} + \Delta\alpha/2_{\text{прав}}}{2}, \text{ где}$$

$$\Delta\alpha/2_{\text{лев}} = \alpha/2_{\text{лев}} - \alpha/2_{\text{ном}};$$

$$\Delta\alpha/2_{\text{прав}} = \alpha/2_{\text{прав}} - \alpha/2_{\text{ном}}.$$

**Измерение шага  $P$  наружной резьбы** (рис. 7.11, г) Участок для измерения берут длиной  $Pn$ , где  $P$  — номинальная длина шага;  $n$  — количество шагов в участке

Затем математической обработкой находят действительный размер измеренного шага  $P$ .

Участок  $Pn_1$  измеряют так: наблюдая в окуляр 5, микропарами ставят в поле зрения дальнюю от исполнителя сторону резьбы и роликом головки 6 поворачивают центральный штрих сетки в положение, параллельное правой стороне впадины резьбы.

Затем на этой стороне резьбы находят впадину, ближайшую к одному из торцов детали, но не выходящую в заход резьбы, и ставят центр сетки 3 вплотную (без просвета) к правой боковой стороне этой впадины. Это будет положение  $I$ , по продольной микропаре 11 записывают отсчет  $I$ .

После этого передвигают продольную каретку 23 микропарой 11 или по блоку КМД, подобранному по номинальному размеру длины участка  $Pn$ , к противоположному торцу детали на расстояние  $n$  шагов до появления в поле зрения стороны впадины, параллельной стороне в положении  $I$ , но не выходя в заход резьбы (если получится выход в заход, то необходимо длину участка  $Pn$  уменьшить на один шаг). Здесь подводят центр сетки 3 вплотную к этой стороне — это положение  $I$ , и записывают отсчет  $II$  по продольной микропаре 11.

Вычитая из большего по абсолютной величине отсчета меньший, получают длину участка  $Pn_1$ . Аналогично измеряют участок  $Pn_2$ .

Измерение участков  $Pn_3$  и  $Pn_4$ : перемещением поперечной каретки 22 переводят деталь до появления в поле зрения ближайшей к исполнителю стороны профиля резьбы и действиями, аналогичными действиям, описанным для измерения длин участков  $Pn_1$  и  $Pn_2$ , измеряют длины участков  $Pn_3$  и  $Pn_4$ .

Затем подсчитывают действительную (свободную от искажений из-за перекоса оси резьбы) длину участка  $Pn_d$ :

$$Pn_d = \frac{Pn_1 + Pn_2 + Pn_3 + Pn_4}{4}.$$

Определяют действительный размер шага  $P_d (Pn_d/n)$ . Для оценки годности шага резьбы находят его погрешность  $\Delta P_d = P_d - P_{\text{номинал}}$  и сопоставляют ее с допуском шага по чертежу или по таблицам ГОСТа.

Погрешности измерения диаметров и шага резьбы на БМИ составляют от 0,005 до 0,010 мм; чем меньше шаг, тем больше погрешность. Погрешность измерения поло-

вины угла профиля  $\alpha/2$  при шаге резьбы  $P \leq 0,5$  мм составляет  $\pm \left(3 + \frac{7}{P}\right)'$ , а при шаге  $P \geq 0,5$  мм составит  $\pm \left(3 + \frac{4}{P}\right)'$ .

#### Контрольные вопросы

1. Что такое полный и укороченный профили резьбы? Какой состав комплектов калибров для контроля гайки и болта?

2. Что такое контрольные калибры для резьбовых калибров—составов комплектов для контроля проходных и для непроходных колец?

3. Что такое комплексный и дифференцированный методы измерения резьбы?

4. Каково отличие микрометра со вставками от гладкого микрометра?

5. Объясните измерение среднего диаметра резьбы с помощью проволочек (размер проволочек, преимущество такого измерения).

6. Расскажите, как измеряют половину угла профиля и шаг наружной резьбы на большом инструментальном микроскопе.

## ГЛАВА 8. ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### § 8.1. Шпоночные соединения

Чтобы соединить вал двигателя с валом машины, применяют муфты, одна часть которой расположена на валу двигателя, а вторая на валу машины. Эти отдельные части обычно называют втулками. Вращение вала передается втулке шпонкой, которая вложена в канавку вала и канавку втулки.

Аналогично через шпонку получают вращение и многие зубчатые колеса, расположенные на валах внутри машин и механизмов.

При сборке вала со втулкой и шпонкой необходима взаимозаменяемость. Наиболее важным является соединение по размеру  $b$ , (рис. 8.1), т. е. по сопряжению толщины шпонки и ширины канавок (пазов) вала и втулки.

По форме шпонок соединения разделяются на призматические, сегментные и клиновые. Допуск и посадки шпоночных соединений стандартизованы. На призматические соединения действует ГОСТ 23360—78, на сегментные — ГОСТ 24071—80 и на клиновые — ГОСТ 24068—80.

Шпоночное соединение по размеру  $b$  построено по системе вала: шпонка имеет для всех посадок одинаковое поле допуска  $h9$ , а различные посадки получаются за счет разных полей допусков ширины канавок (пазов). В указанных выше ГОСТах установлено, что посадки

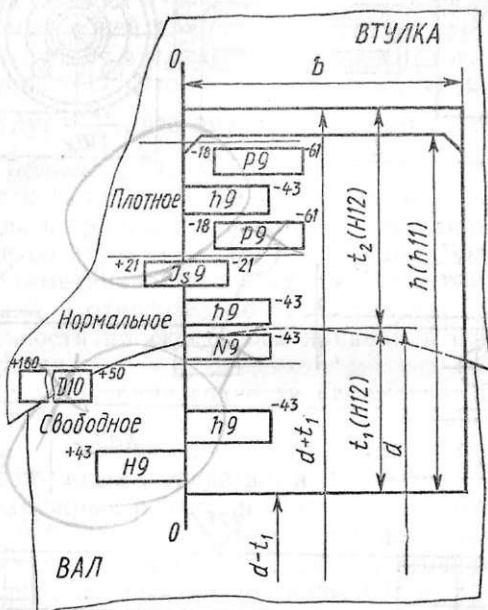
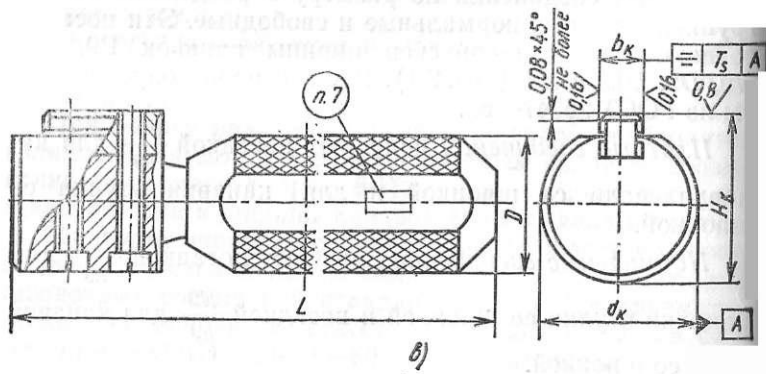
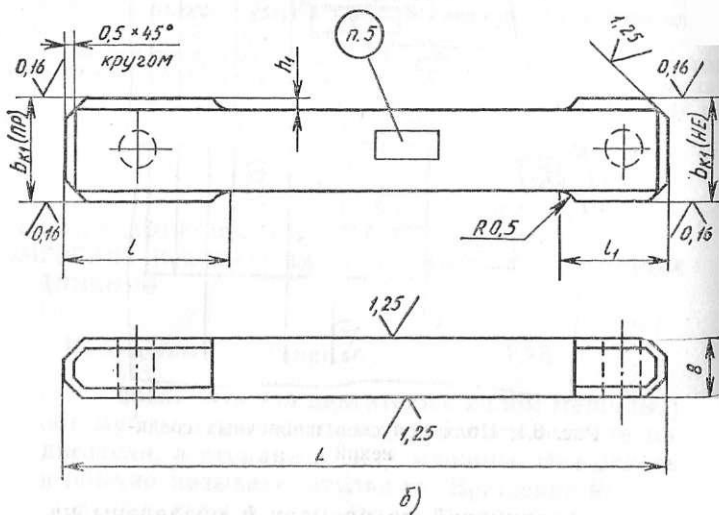
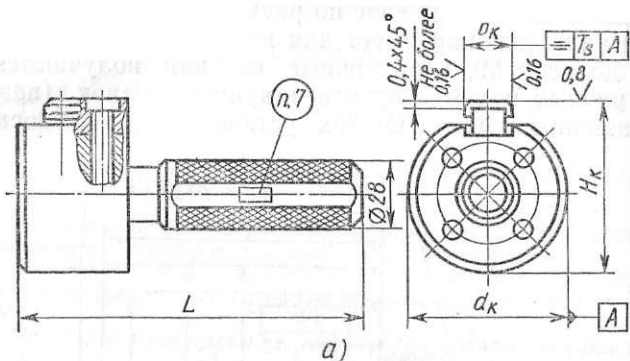


Рис. 8.1. Поля допусков шпоночных соединений

шпоночных соединений по размеру  $b$  разделены на три группы: плотные, нормальные и свободные. Эти посадки создаются полями допусков ширины канавок P9, Js9, N9, D9, D10 и H9 (рис. 8.1). Все эти поля допусков взяты из ГОСТ 25347—82.

*Плотные соединения* получают посадкой  $\frac{P9}{h9}$  для канавки вала со шпонкой и для канавки втулки со шпонкой.

*Нормальные соединения* получают посадкой  $\frac{Js9}{h9}$  для канавки втулки со шпонкой и посадкой  $\frac{N9}{h9}$  для канавки вала со шпонкой.





Свободные соединения получают посадкой  $\frac{D10}{n9}$  для

канавки втулки со шпонкой и посадкой  $\frac{H9}{h9}$  для канавки вала со шпонкой.

Высота шпонки  $h$  изготавливается с полем допуска  $h11$ . Сопрягаемые с ней глубины канавок (пазов) для вала (размер  $t_1$ ) и для втулки (размер  $t_2$ ) изготавливаются с полем допуска  $H11$ . Это значит, что посадки по этим размерам будут  $\frac{H11}{h11}$ , что практически дает вероятность достаточно большого зазора.

Кроме посадок по ширине канавок и толщине шпонки  $b$  важно и правильное расположение канавок (пазов) на валу и во втулках. Здесь назначаются такие нормы: допуски симметричности оси канавок (пазов) относительно оси вала и относительно отверстия втулки и допуск параллельности плоскости оси канавки к оси вала или оси отверстия.

**Средства контроля годности параметров шпоночного соединения.** Размеры шпонок  $b$  и  $h$  в единичном производстве контролируют измерением их действительных размеров обычными средствами измерения, выбираемыми для наружных размеров с допусками 9-го качества по размеру  $b$  и для 11-го качества по размеру  $h$ . Очевидно, что для размера  $b$  следует применять гладкие микрометры МК, рычажные скобы СР и для больших номинальных размеров индикаторные скобы СИ. В серийном производстве размер  $b$  шпонки контролируют гладкими калибрами-скобами для поля допуска  $h9$ , а размер  $h$  — гладкими калибрами-скобами для поля допуска  $h11$ .

Для контроля годности вала с пазом (канавкой) и втулки с пазом (канавкой) применяют комплекты калибров:

А. Для контроля втулок с пазами: комплексный шпоночный калибр-пробка (рис. 8.2, а); поэлементные калибры: гладкие калибры-пробки ПР и НЕ для отверстия втулки; калибры ПР и НЕ для ширины паза  $b$

← Рис. 8.2. Калибры для контроля втулок с пазами:

а — комплексный проходной калибр-пробка, б — поэлементные калибры-пробки ПР и НЕ для контроля ширины паза, в — поэлементные калибры-пробки ПР и НЕ для контроля глубины паза

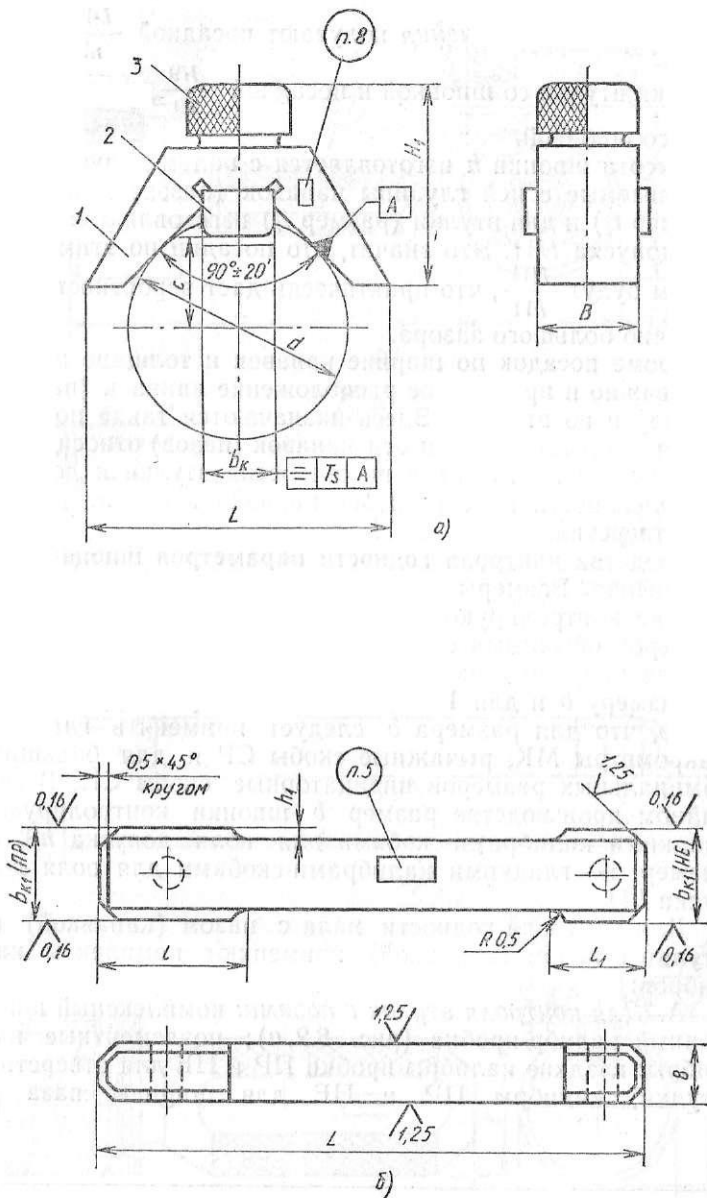


Рис. 8.3. Калибры для контроля валов с пазами:  
 а — комплексный проходной калибр-призма, б — калибры ПР и НЕ для контроля ширины паза, в — калибры ПР и НЕ для контроля глубины паза



различия по мощности установлены три серии соединений: легкая, средняя и тяжелая.

**Прямоугольные шлицевые соединения.** Контур прямо-угольного шлицевого соединения имеет три главные параметра вала и втулки: наружный диаметр  $D$ , внутренний диаметр  $d$  и размер  $b$  — толщину шлицев вала или ши-

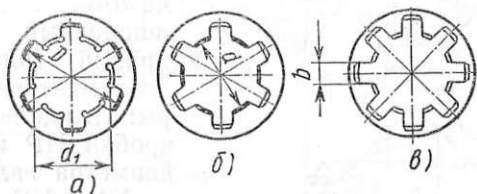


Рис. 8.4. Центрирование прямоугольных шлицевых соединений:

$a$  — по наружному диаметру,  $б$  — по внутреннему диаметру,  $в$  — по боковым поверхностям зубьев

рину канавок втулки. Прямоугольные шлицевые соединения разделяются на три вида центрирования вала во втулке:

соединения с центрированием по внутреннему диаметру  $d$  (рис. 8.4,  $б$ );

соединения с центрированием по наружному диаметру  $D$  (рис. 8.4,  $а$ );

соединения с центрированием по боковым сторонам зубьев  $b$  (рис. 8.4,  $в$ ).

Допуски и посадки прямоугольных шлицевых соединений устанавливаются ГОСТ 1139—80. Требуемый характер сопряжения соединяемых деталей достигается назначением для их изготовления соответствующих полей допусков центрирующих параметров. Точность изготовления этих параметров обычно находится для валов в пределах от 5-го до 10-го качества, а для втулок — от 6-го до 10-го качества. Допуски на размер  $b$  разделены на две группы: соединения повышенной точности с допусками  $IT6$ ,  $IT7$  и  $IT8$  и соединения нормальной точности с допусками  $IT9$  и  $IT10$ .

Все поля допусков параметров выбраны из ГОСТ 25347—82, для валов установлены 20 полей, а для втулок — 8. Из этого общего числа полей предпочтительными считаются для валов поля  $g6$ ,  $js6$ ,  $js7$ ,  $e8$  и  $f8$ , а для втулок — поля  $H7$ ,  $F8$ ,  $D9$  и  $F10$ . В случае, если какой-либо параметр оказывается не центрирующим, его изго-

товляют в пределах полей допусков: для диаметра  $D$  вала —  $a11$ , а для  $D$  втулки —  $H11$ ; для диаметра  $d$  вала — без назначения поля допуска, а для  $d$  втулки —  $///$ . Размер  $b$  при любом виде центрирования получает определенную посадку. Помимо этого на чертеже оговаривается особое требование, что боковые стороны каждого зуба должны быть параллельны оси симметрии зуба.

В условные обозначения допусков и посадок шлицевых прямобочных соединений на чертежах входят: буква, указывающая центрирующую поверхность; число зубьев в соединении; номинальные размеры параметров соединения и посадки каждого параметра. ГОСТ 1139—80 разрешает не указывать в обозначениях допуски нецентрирующих диаметров.

Примеры обозначения шлицевого прямобочного соединения на чертеже:

для соединения:  $D-8 \times 42 \times 48 \frac{H8}{h7} 8 \frac{F8}{e8}$ ;

для втулки:  $D-8 \times 42 \times 48 H8 \times 8 F8$ ;

для вала:  $D-8 \times 42 \times 48 h7 \times 8 e8$ .

Читается так: для соединения — шлицевое прямобочное соединение, центрированное по  $D$ , с параметрами  $b=8$  мм;  $d=42$  мм,  $D=48$  мм. Посадка по  $D=48 \frac{H8}{h7}$ , а по  $b=8 \frac{F8}{e8}$ ,

Для втулки — шлицевая прямобочная втулка, центрированная по  $D$ , с параметрами и полями допусков  $b=8 F8$ ,  $d$  — не центрируется,  $D=48 H8$ ;

для вала — шлицевый прямобочный вал, центрированный по  $D$ , с параметрами и полями допусков  $b=8 e8$ ,  $d$  — не центрируется,  $D=48 h7$ .

Для контроля годности прямобочного шлицевого соединения применяют комплекты калибров:

*А. Для контроля шлицевого прямобочного отверстия:*

1. Комплексный калибр-пробка проходной (рис. 8.5). Этот калибр имеет контур, обратный контуру шлицевого прямобочного отверстия; он изготавливается с наименьшими предельными размерами параметров  $D$ ,  $d$  и  $b$ . В шлицевом отверстии он контролирует одновременно наименьшие размеры этих параметров и их соосность, а также симметричность пазов, их шаг по окружности и параллельность осей симметрии пазов отверстия. В шлицевое отверстие этот калибр должен проходить.

2. Поэлементный калибр-пробка неполный непроходной для контроля  $D$  (рис. 8.5). В шлицевое отверстие не должен входить.

3. Поэлементный калибр-пробка неполный непроходной для контроля ширины паза  $b$  (рис. 8.5). В паз отверстия не должен входить.

4. Поэлементный калибр-пробка полный непроходной для контроля (рис. 8.5), в отверстие не должен проходить.

Шлицевое прямоугольное отверстие признают годным, если комплексный калибр-пробка проходит в него, а

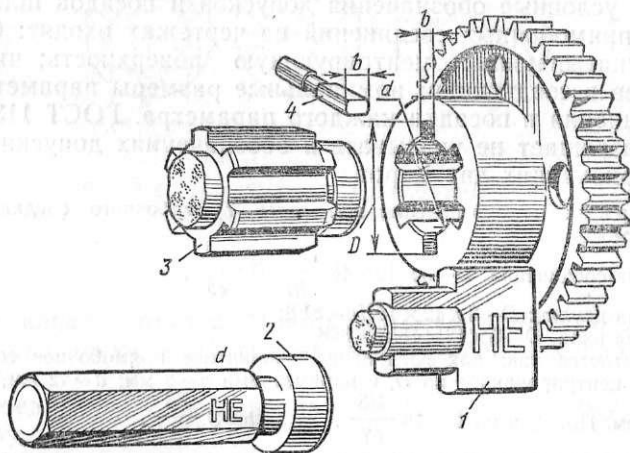


Рис. 8.5. Калибры для контроля шлицевого прямоугольного отверстия:

1 — неполный непроходной калибр-пробка для контроля  $D$ , 2 — поэлементный полный непроходной калибр-пробка для контроля  $d$ , 3 — комплексный проходной калибр-пробка, 4 — поэлементный непроходной калибр-пробка для контроля ширины паза  $b$

поэлементные пробки не проходят в размеры  $D$ ,  $d$  и  $b$ . Это означает, что параметры  $D$ ,  $d$  и  $b$  каждый в отдельности не выходят за верхние предельные размеры.

**Б. Для контроля шлицевого прямоугольного вала:**

1. Комплексный калибр-кольцо проходной (рис. 8.6). Этот калибр имеет контур, обратный контуру шлицевого прямоугольного вала; он изготавливается с наибольшими предельными размерами параметров  $D$ ,  $d$  и  $b$ ; на шлицевом валу он контролирует одновременно эти наибольшие размеры и соосность их окружностей, а также симметричность зубьев, их шаг по окружности и параллельность осей симметрии зубьев вала. На вал этот калибр-кольцо должен проходить по всей длине шлицевой поверхности.

2. Поэлементный калибр-скоба непроходной для контроля  $d$  шлицевого вала (рис. 8.6). На внутренний диаметр вала  $d$  этот калибр не должен проходить.

3. Поэлементный калибр-скоба непроходной для контроля  $b$  шлицевого вала (рис. 8.6). На размер шлицев этот калибр не должен проходить.

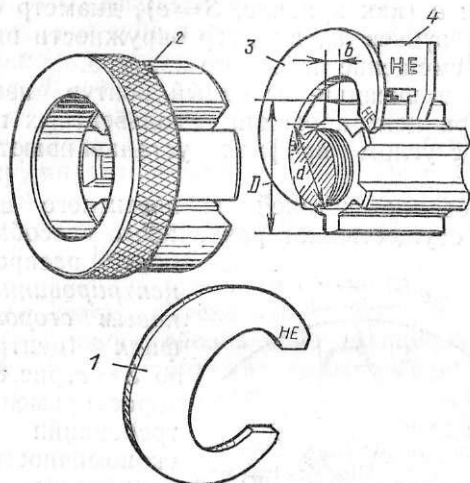


Рис. 8.6. Калибры для контроля шлицевого прямобочного вала:

1 — поэлементный непроходной калибр-скоба для контроля  $d$ , 2 — комплексный проходной калибр-кольцо, 3 — поэлементный непроходной калибр-скоба для контроля  $D$ , 4 — поэлементный непроходной калибр-скоба для контроля  $b$

4. Поэлементный калибр-скоба непроходной для контроля шлицевого вала (рис. 8.6). На наружный диаметр  $D$  вала этот калибр не должен проходить.

Шлицевой вал с прямобочным профилем признается годным, если комплексный калибр-кольцо проходит по всей длине его поверхности, а поэлементные калибры-скобы не проходят на соответственные размеры  $D$ ,  $d$  и  $b$ .

В случаях, если длина шлицевого вала или шлицевой втулки превышает длину своего комплексного калибра, то контролируются отклонения от параллельности сторон зубьев вала и сторон пазов втулки относительно оси центрирующей поверхности.

**Эвольвентные шлицевые соединения.** Эвольвентными эти соединения называются потому, что они имеют про-

филь зуба вала и паза втулки, очерченный эвольвентой

Основными параметрами, на базе которых обеспечивается взаимозаменяемость шлицевых эвольвентных соединений, являются: номинальный (исходный) диаметр соединения  $D$ , диаметр окружности впадин втулки  $D_f$ , модуль  $m$ , толщина зуба вала  $S$  и ширина впадины втулки  $e$  (как правило,  $S=e$ ), диаметр окружности вершин зубьев  $d_a$ , диаметр окружности впадин вала  $d_f$ ,  $xm$  — смещение исходного контура.

Допуски и посадки, исходный контур, измеряемые величины при центрировании эвольвентных шлицевых соединений с углом профиля устанавливаются ГОСТ 6033—80.

Центрирование деталей эвольвентного шлицевого соединения осуществляют различными способами. На-

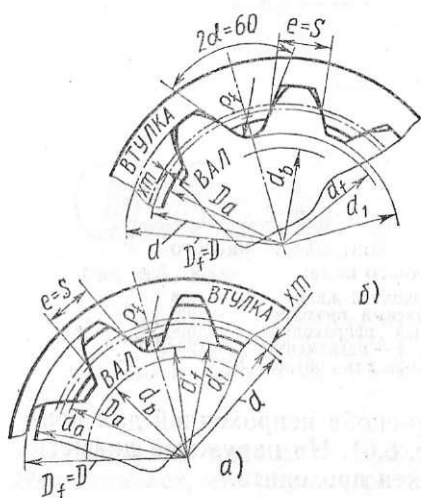


Рис. 8.7 Центрирование шлицевых эвольвентных деталей по  $S=e$  (а) и по  $D_0$  и  $d_0$  (б)

более распространены центрирование по боковым сторонам профиля (центрирование по  $S=e$ , рис. 8.7, а), которое применяют при требовании большей экономичности, и центрирование по наружному диаметру  $D_f$  и  $d_f$  (рис. 8.7, б), которое дает большую точность соосности втулки с валом.

Допуски и посадки при центрировании по боковым поверхностям зубьев. Особенностью допусков эвольвентных шлицевых соединений является то, что на сопрягаемые размеры

толщины зубьев вала  $S$  и ширины впадины втулки  $e$  установлены два вида допусков:

допуск собственно размеров  $S$  и  $e$  —  $T_e = T_s$ ;

суммарный допуск  $T$ , включающий в себя и отклонения собственно размеров  $S$  и  $e$ , и отклонения формы и расположения поверхностей элементов профиля зубьев и впадины.



Установлены следующие степени точности изготовления размеров  $S=e$ :

для ширины впадины втулки  $e$  — 7, 9, 11;

для толщины зуба вала  $S$  — 7, 8, 9, 10, 11.

Основные отклонения этих размеров определены для полей:

для ширины впадины втулки  $e$ — $H$ ;

для толщины зуба вала  $S$ — $r, p, n, k, h, g, f, d, c, a$ .

Допуски нецентрирующих элементов назначены —  $D_a=H11$  и  $d_a=h12$ .

*Допуски и посадки при центрировании по наружному диаметру.* Допуски центрирующих элементов — диаметра окружности впадины втулки  $D_f$  и диаметра окружности вершин зубьев  $d_a$  берут из ГОСТ 25346—82. Для  $D_f$  установлено применение полей  $H7$  и  $H8$ , а для  $d_a$  поля  $n6, y6, h6, g6, f7$ .

Нецентрирующий в данном случае параметр  $d_f$  изготавливается с полем допуска  $h16$ .

Полное условное обозначение шлицевых эвольвентных соединений на чертежах должно содержать: номинальный диаметр соединения  $D$ , модуль  $m$ , обозначение посадки соединения (полей допусков вала и втулки), расположенное после размеров центрирующих элементов, обозначение ГОСТ 6033—80. В обозначении полей допусков размеров  $e$  и  $S$  ставят сначала число, а потом букву основного отклонения (в отличие от гладких соединений).

Примеры. 1. Условное обозначение шлицевого эвольвентного соединения, имеющего  $D=35$  мм,  $m=2,5$  мм, центрируемого по боковым сторонам зубьев с посадкой  $\frac{9H}{9g}$ :  $35 \times 2,5 \times 9 \frac{H}{g}$ —ГОСТ 6033—80.

2. Условное обозначение шлицевого эвольвентного соединения, имеющего  $D=50$  мм;  $m=2$  мм; центрируемого по наружному диаметру с посадкой  $\frac{H7}{g6}$ :

$$50 \frac{H7}{g6} \times 2 \text{ ГОСТ } 6033-80.$$

Для контроля годности шлицевых эвольвентных соединений применяют комплекты калибров:

. Для контроля шлицевого эвольвентного вала:

1. Калибр-кольцо шлицевой комплексный проходной (рис. 8.8, а). Контролирует одновременно шлицевой вал по наибольшим размерам его элементов и погрешности их формы и расположение поверхностей. Вал годен, если комплексный калибр-кольцо, надетый на него в лю-

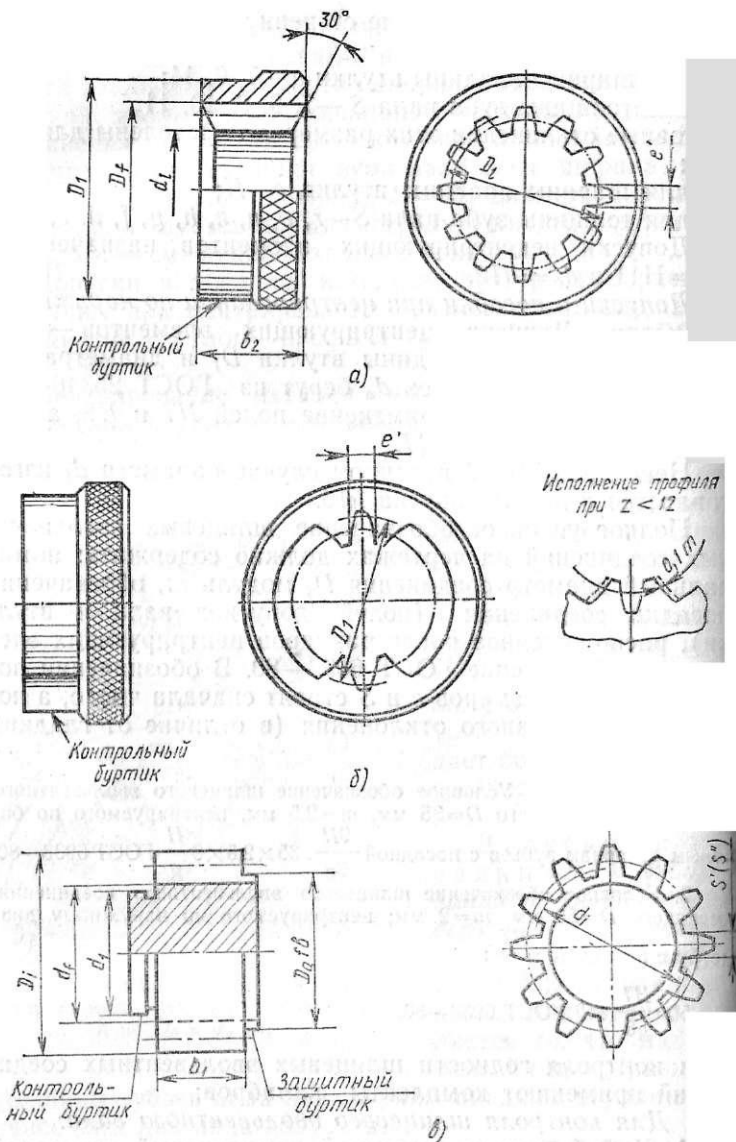


Рис. 8.8. Калибры для контроля деталей эвольвентных соединений:  
 а — калибр-кольцо комплексный проходной эвольвентный для контроля вала,  
 б — калибр-кольцо поэлементный непроходной эвольвентный для контроля вала,  
 в — калибр-пробка комплексный проходной эвольвентный для контроля втулки,  
 г — калибр-пробка поэлементный непроходной эвольвентный для контроля втулки

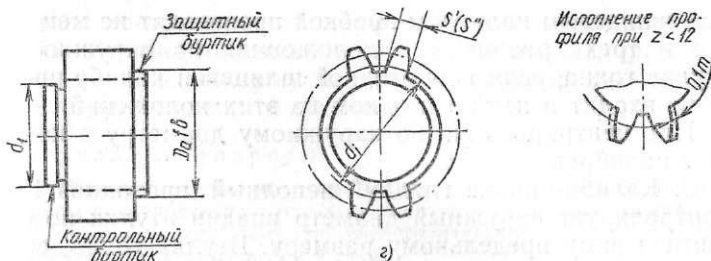


Рис. 8.8. Продолжение

бом расположении, проходит по всей его поверхности под действием собственного веса.

2. Калибр-кольцо поэлементный непроходной (рис. 8.8, б). Контролирует шлицевой вал по наименьшим размерам его элементов. Контроль непроходным калибром-кольцом производят не меньше чем в трех различных положениях по окружности. Вал годен, если непроходной калибр-кольцо не проходит на него ни в одном из этих положений.

При центрировании по наружному диаметру в комплект калибров входят:

3. Калибр-скоба гладкий ПР или калибр-кольцо (при нечетном числе шлицев) гладкий проходной ПР. Контролирует наибольший предельный размер наружного диаметра шлицевого вала. Вал годен, если проходной гладкий калибр ПР пройдет через него под действием собственного веса.

4. Калибр-скоба (или калибр-кольцо) гладкий непроходной НЕ. Контролирует наименьший предельный размер наружного диаметра шлицевого вала. Вал годен, если калибр-скоба (калибр-кольцо) НЕ не проходит через него.

*Б. Для контроля шлицевой эвольвентной втулки:*

1. Калибр-пробка шлицевой комплексный проходной (рис. 8.8, в). Контролирует одновременно шлицевую втулку по наименьшим размерам ее элементов, погрешностям формы и расположению их поверхностей. Шлицевая втулки годна, если калибр-пробка комплексный проходной, введенный в нее в любом расположении, проходит сквозь нее под действием собственного веса.

2. Калибр-пробка шлицевой поэлементный непроходной (рис. 8.8, г). Контролирует в эвольвентной втулке ее элементы по наибольшим размерам. Контроль непроход-

ным шлицевым калибром-пробкой производят не меньше чем в трех различных положениях по окружности. Втулка годна, если непроходной шлицевой калибр-пробка не входит в нее ни в одном из этих положений.

При центрировании по наружному диаметру в комплект калибров входят:

3. Калибр-пробка гладкий неполный проходной ПР. Контролирует наружный диаметр впадин втулки по его наименьшему предельному размеру. Втулка годна, если гладкий неполный калибр-пробка ПР войдет во втулку под действием собственного веса.

4. Калибр-пробка гладкий неполный непроходной НЕ. Контролирует наружный диаметр впадин втулки по его наибольшему предельному размеру. Втулка годна, если гладкий неполный калибр-пробка НЕ не войдет в нее.

При отсутствии на предприятии непроходных элементарных калибров ГОСТ 24969—81 допускает выполнять элементный контроль наибольшего предельного размера  $d + xm$  шлицевой эвольвентной втулки и наименьший предельный размер  $d$  шлицевого эвольвентного вала измерением косвенным методом размера  $M$  с помощью измерительных роликов.

ГОСТ 24969—81 приводит таблицы с заданными размерами величины  $M$  для разных номинальных размеров валов и втулок. Очевидно, что данное измерение аналогично измерению среднего диаметра резьбы.

Годность комплексного проходного калибра-кольца должна, в свою очередь, проверяться следующими контрольными калибрами:

контрольным калибром-пробкой шлицевым комплексным для контроля нового проходного комплексного калибра-кольца, он должен проходить в новый калибр-кольцо;

контрольный шлицевой комплексный калибр-пробка для контроля износа комплексного проходного калибра-кольца, этот калибр-пробка не должен проходить в комплексный калибр-кольцо.

ГОСТ 6033—80 и 24969—81 в совокупности установлена общая шкала точности изготовления шлицевых эвольвентных деталей и калибров для контроля их годности. Эта шкала состоит из степеней точности 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10 и 11. Данными ГОСТами установлено, что по 2-й степени точности должны изготавливать контрольные калибры-пробки; по калибрам 3-й степени точности

должны контролировать валы и втулки, изготовленные по 6-й степени точности и грубее; а по калибрам 4-й степени точности допускается контролировать детали 8-й степени точности и грубее.

#### Контрольные вопросы

1. Назовите параметры прямобочных шлицевых соединений. Какие виды центрирования деталей применяют в машиностроении?
2. Назовите поля допусков предпочтительного применения для прямобочных шлицевых валов и втулок.
3. Какие комплекты калибров применяют для контроля прямобочных шлицевых валов и втулок?
4. Назовите параметры эвольвентного шлицевого соединения и виды центрирования этих соединений.
5. Виды допусков эвольвентных шлицевых соединений?
6. Какие комплекты калибров применяют для контроля эвольвентных шлицевых валов и втулок?
7. Какие степени точности изготовления шлицевых эвольвентных деталей и калибров для контроля их годности вы знаете?

### ГЛАВА 9. ДОПУСКИ, ВИДЫ СОПРЯЖЕНИЙ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

#### § 9.1. Особенности устройства и действия зубчатых колес и передач. Требования к их точности

Прежде чем ознакомиться с требованиями к точности зубчатых колес и передач, следует вспомнить основные параметры и элементы зубчатого колеса и передачи с эвольвентным профилем зуба, их наименования и обозначения (рис. 9.1).

*Основная окружность* — окружность, развертка которой дает эвольвенту профиля зуба колеса.

*Шаг зубьев* — дуга делительной окружности, расположенная между одноименными профилями двух соседних зубьев.

*Делительная окружность колеса* — окружность, разделяющая шаг зубьев на две равные части, на зуб и впадину.

*Модуль  $m$*  — часть делительной окружности, приходящаяся на один зуб колеса.

*Боковой зазор  $I_n$*  — расстояние между нерабочими профилями зубьев колес, находящихся в зацеплении.

*Длина общей нормали колеса  $W$*  — расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным боковым поверхностям разных зубьев колеса.

Точность передачи движения, требуемая от данной зубчатой передачи, определяется точностью изготовления зубчатых колес и передачи, составленной из них. В то же время при изготовлении зубчатого колеса требуемую точность движения, выполняемую данным коле-

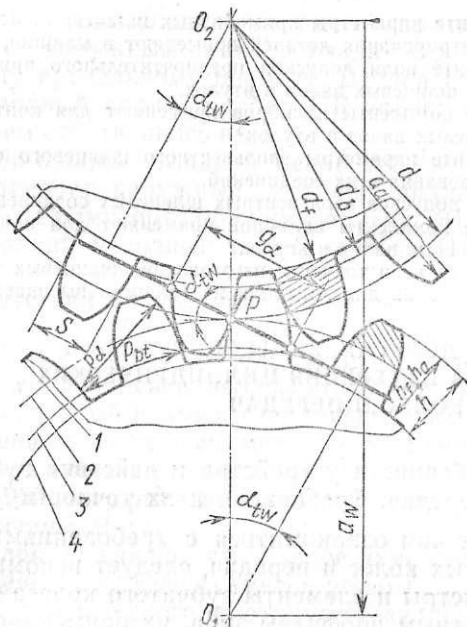


Рис. 9.1. Параметры эвольвентного зубчатого колеса и передачи:

1 — окружность вершин, 2 — делительная окружность, 3 — основная окружность, 4 — окружность впадин

сом, обеспечивают, выдерживая допуски отдельных элементов и параметров самого колеса.

Это соображение и определило такой порядок: ГОСТ 1643—81, устанавливающий допуски эвольвентных зубчатых колес и передач, прежде всего определяет основные требования к точности движения зубчатого колеса, а уж во вторую очередь в зависимости от этих требований назначает нормы точности на размеры отдельных элементов и параметров зубчатого колеса и их сопряжения в зацеплении, возникающем в передаче.

В названном ГОСТе все требования к точности разделены на группы, из которых основными являются тре-

Рис. 9.2. Кинематическая погрешность колеса (а) и график кинематической погрешности (б):

1 — действительный угол поворота контролируемого колеса, 2 — номинальный угол поворота контролируемого колеса, 3 — действительный угол поворота измерительного колеса, 4 — измерительное колесо, 5 — контролируемое колесо,  $F'_{ir}$  — кинематическая погрешность контролируемого колеса

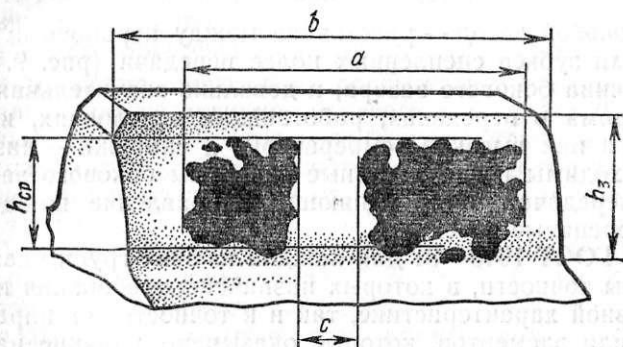
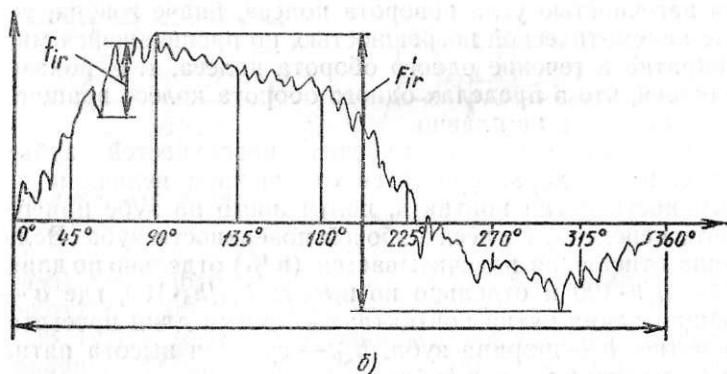
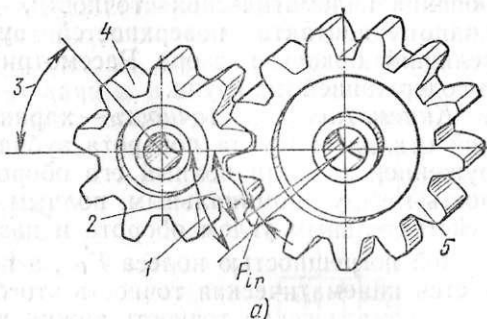


Рис. 9.3. Пятно контакта

бования кинематической точности, плавности работы, полноты контакта поверхностей зубьев в передаче и величины бокового зазора. Рассмотрим подробнее смысл и содержание этих групп.

*Кинематическая точность* — характеризуется величиной отклонения угла поворота зубчатого колеса, обнаруженной за один полный его оборот (рис. 9.2). Разность между номинальным, полным углом оборота и действительным углом оборота и называется кинематической погрешностью колеса  $F'_{ir}$ , а по ней и характеризуется кинематическая точность этого колеса.

Кинематическая точность важна для длительных передач металлорежущих станков, в механизмах счетно-решающих машин и др.

*Плавность работы* зубчатого колеса — характеризуется неточностью угла поворота колеса, иначе говоря, той же кинематической погрешностью, но проявившейся многократно в течение одного оборота колеса, т. е. показывающей, что в пределах одного оборота колесо вращается рывками, а не плавно.

*Полнота контакта* рабочих поверхностей зубьев (рис. 9.3) — характеризуется отношением величины поверхности пятна контакта, полученного на зубе при работе передачи, ко всей рабочей поверхности зуба. Величина отношения подсчитывается (в %) отдельно по длине  $(a-c)/b \cdot 100$  и отдельно по высоте  $h_{cp}/h_z \cdot 100$ , где  $a$  — общая длина пятна контакта;  $c$  — сумма длин просветов в пятне;  $b$  — ширина зуба,  $h_{cp}$  — средняя высота пятна,  $h_z$  — рабочая высота зуба.

## § 9.2. Боковой зазор

*Боковой зазор* — расстояние между нерабочими сторонами зубьев сцепленных колес передачи (рис. 9.4, а). Величина бокового зазора, и довольно значительная, необходима в передачах, работающих в условиях, когда внутри них высокие температуры, а снаружи — низкие. Необходимы незначительные величины бокового зазора и в передачах, часто меняющих направление вращения (реверсивные передачи).

В ГОСТ 1643—81 для каждой из этих групп указаны нормы точности, в которых назначены требования как к основной характеристике, так и к точности тех параметров или элементов, которые оказывают влияние на эту характеристику. На первые три группы — назначены до-



пуски, разделенные на 12 степеней точности — от 1-й до 12-й по мере уменьшения точности (аналогично классам для гладких соединений). Следует иметь в виду, что в ГОСТ 1643—81 нет данных для 1-й и 2-й степеней точности, так как эти весьма малые величины еще не дости-

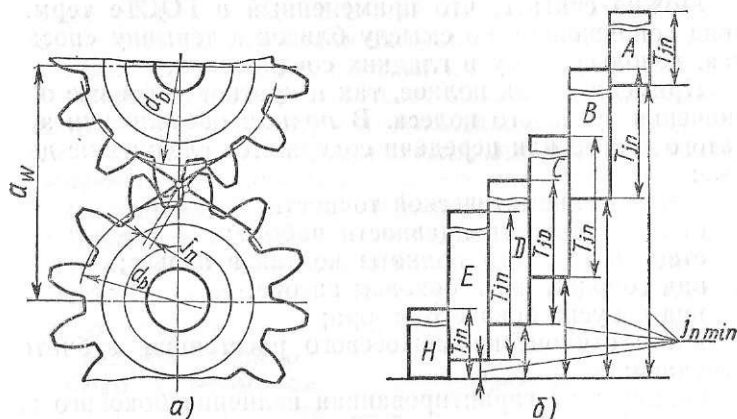


Рис. 9.4. Боковой зазор:

а — изображение бокового зазора в передаче, б — виды сопряжений бокового зазора

жими для современного уровня машиностроения, они являются пока перспективными.

В ГОСТ 1643—81 установлен ряд величин гарантированного бокового зазора  $J_{n\min}$  (рис. 9.4, б) и введено шесть видов сопряжений по боковому зазору, которые обозначены прописными буквами *H, E, D, C, B, A* в порядке роста величины зазора. Существенное влияние на величину гарантированного бокового зазора оказывают отклонения межосевого расстояния  $a_w$  зубчатых колес. Поэтому кроме допусков на параметры зубчатого колеса, влияющие на величину бокового зазора, ГОСТ устанавливает отдельные классы отклонений межосевого расстояния. Таких классов существует шесть и обозначаются они римскими цифрами от I до VI по мере уменьшения точности.

Следует усвоить, что все перечисленные зависимости и нормы — виды сопряжений *H, E, D, C, B, A* и классы отклонений межосевого расстояния от I до VI определяют величину гарантированного наименьшего бокового зазора  $J_{n\min}$  (рис. 9.4, б). Отклонения бокового зазора в

плюс до величины  $J_{n\max}$  допускается и особо установленные виды допусков собственно бокового зазора. Эти виды допусков обозначаются строчными буквами латинского алфавита  $h, d, c, b, a, z, y, x$  по мере увеличения допуска бокового зазора.

Можно считать, что примененный в ГОСТе термин «вид сопряжения» по смыслу близок к термину «посадка», используемому в гладких соединениях.

Применяют как полное, так и краткое условные обозначения зубчатого колеса. В полном обозначении зубчатого колеса или передачи содержатся следующие данные:

- степень кинематической точности;
- степень точности плавности работы;
- степень точности полноты контакта зубьев;
- вид сопряжения в боковом зазоре;
- вид допуска бокового зазора;
- класс отклонения межосевого расстояния зубчатой передачи;
- наименьшая гарантированная величина бокового зазора.

Пример. На чертеже нанесена надпись: 8-7-6-Вa/V-128 ГОСТ 1643—81. Это читается так: зубчатое колесо должно иметь кинематическую точность 8-й степени точности, плавность работы 7-й степени точности, полноту контакта 6-й степени точности, боковой зазор с видом сопряжения  $V$  и видом допуска  $a$ , межосевое расстояние с допуском по  $V$  классу точности и наименьшим гарантированным боковым зазором величиной 128 мкм.

В самом кратком обозначении на чертеже может быть указано: 8—С ГОСТ 1643—81. Возможно на чертеже встретить и такое обозначение: 8-N-6-В ГОСТ 1643—81. Это значит, что для данной передачи требования к плавности работы функционально не имеют значения и конструктор их не оговаривает.

#### Контрольные вопросы

1. Какие основные параметры зубчатого колеса и зубчатой передачи вы знаете?
2. Перечислите требования к точности зубчатого колеса и зубчатой передачи.
3. Что такое боковой зазор и какие применяют виды допусков и сопряжений для бокового зазора?
4. Прочтите и расшифруйте условное обозначение (полное) зубчатого колеса и зубчатой передачи на чертеже.

### § 9.3. Основные показатели точности зубчатых колес

Кинематическая точность зубчатого колеса зависит от кинематической точности зуборезного станка, на котором изготавливают данное колесо, и от соосности заготовки зубчатого колеса с осью вращения оправки станка, на которой укреплен заготовка колеса.

ГОСТ 1643—81 для определения степени точности изготовленного колеса разрешает заводу-изготовителю выбирать такие параметры и комплексы параметров, которые наиболее полно характеризуют нормы точности, требуемые по назначению колеса или передачи, и для которых имеются средства измерения.

#### Показатели и параметры кинематической точности.

1. Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса  $F'_{ir}$  — разность между номинальным полным углом оборота и действительным углом поворота колеса, ведомого измерительным колесом (см. рис. 9.2, график). Эта погрешность измеряется приборами для комплексного однопрофильного измерения. На рис. 9.5 показана схема такого прибора, его принципиальное устройство. Контролируемое зубчатое колесо 1 сцеплено с измерительным колесом 2 (измерительным зубчатым колесом называют колесо, изготовленное на инструментальном заводе специально для измерительных целей; оно служит образцом точности по всем показателям и параметрам). На оправках обоих колес укреплены датчики 3 и 4 углов поворота. Каждый из датчиков подает сигнал при определенной величине угла поворота. Сигналы этих датчиков поступают в устройство 5, которое сравнивает величины углов поворотов обеих оправок, т. е. колес. При отклонении углов сравнивающее устройство 5 посылает

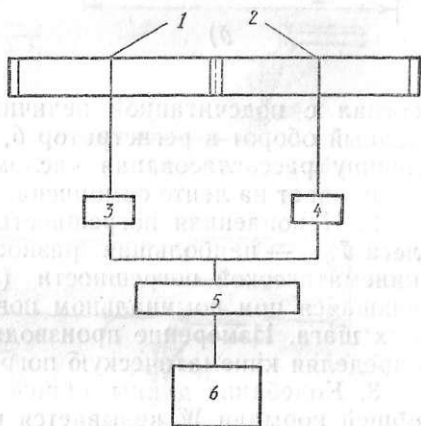


Рис. 9.5. Схема прибора для комплексной однопрофильной проверки кинематической погрешности

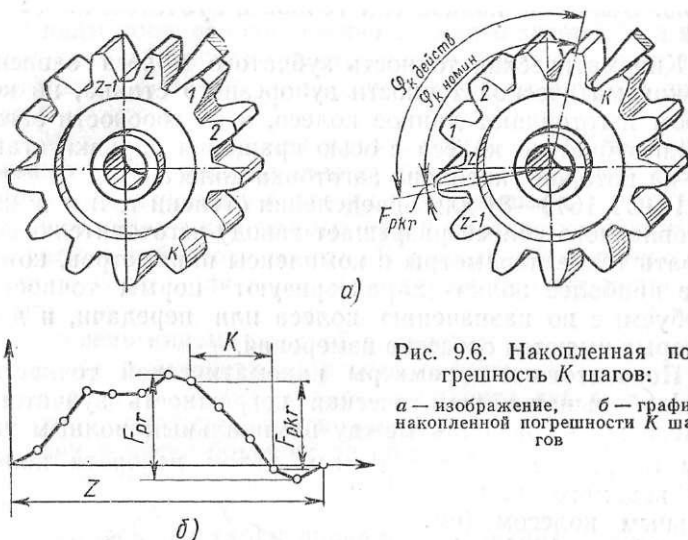


Рис. 9.6. Накопленная погрешность  $K$  шагов:

$a$  — изображение,  $b$  — график накопленной погрешности  $K$  шагов

сигнал с подсчитанной величиной рассогласования за полный оборот в регистратор  $b$ , который показывает величину рассогласования числом в цифровом окне или записывает на ленте самописца.

2. Накопленная погрешность  $K$  шагов зубчатого колеса  $F_{pkr}$  — наибольшая разность отдельных значений кинематической погрешности (рис. 9.6, график), проявившаяся при номинальном повороте на  $K$  целых угловых шагов. Измерение производят на том же приборе, определяя кинематическую погрешность для зуба  $K$ .

3. Колебание длины общей нормали  $F_{vwg}$ . Длиной общей нормали  $W$  называется расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным боковым поверхностям разных зубьев колеса (рис. 9.7,  $a, б$ ). Колебания длины общей нормали  $F_{vwg}$  измеряют на разных участках зубчатого венца колеса с помощью штангенциркуля ШЦ-II, или *зубомерного микрометра*, имеющего выступающие губки с плоскопараллельными измерительными плоскостями, или *нормалеметром* (рис. 9.7,  $в$ ).

Основанием нормалеметра обычно служит труба  $8$ , на одном из концов которой укреплен корпус  $4$ . На корпусе расположена измерительная головка  $5$ , а внутри него на плоских пружинах  $2$  и  $6$  качается подвижная губка  $1$ .

Рычагом 3 перемещения губки 1 передаются измерительному наконечнику головки 5.

Установку нормалемера на исходный размер длины общей нормали производят перестановкой губки 11 с помощью ключа-пробки 10. Исходным размером для установки может быть блок КМД 9 или одна из длин

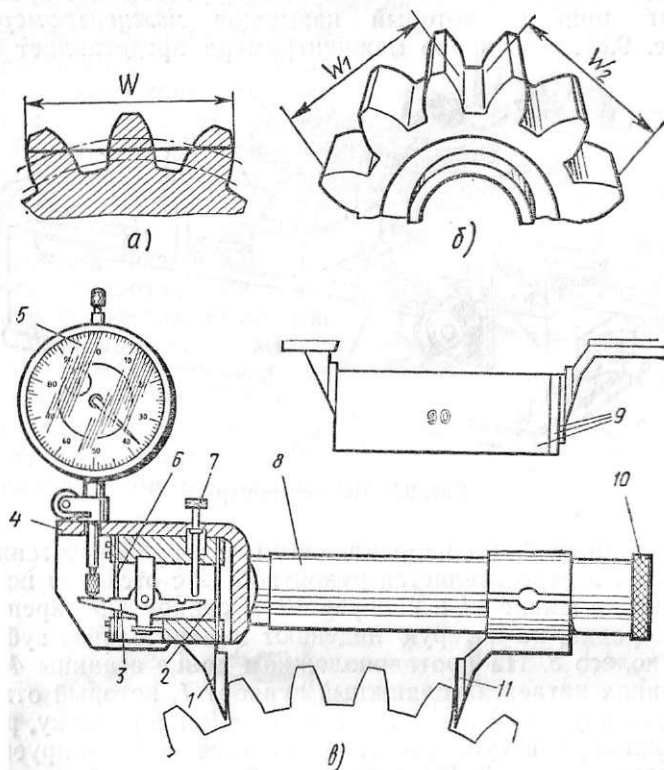


Рис. 9.7. Длина общей нормали:

а — изображение длины, б — колебание длины, в — нормалемер

нормали зубчатого венца измеряемого колеса. Отсчетную головку на «0» устанавливают винтом 7. Нормалемеры изготавливают с диапазоном измерения длин общей нормали от 0 до 150 мм.

4. Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот колеса  $F''_{ir}$ . Измерительным межосевым расстоянием называют такое расстояние между осями двух

сцепленных зубчатых колес, которое получается, когда одно из колес плотно прижато к другому так, чтобы зубья сцепленных колес соприкасались обеими сторонами профиля. Такое зацепление называется двухпрофильным, а метод измерения — комплексным двухпрофильным.

Для измерения колебания этого расстояния применяют прибор, который называют *межцентромером* (рис. 9.8). Основание межцентромера представляет со-

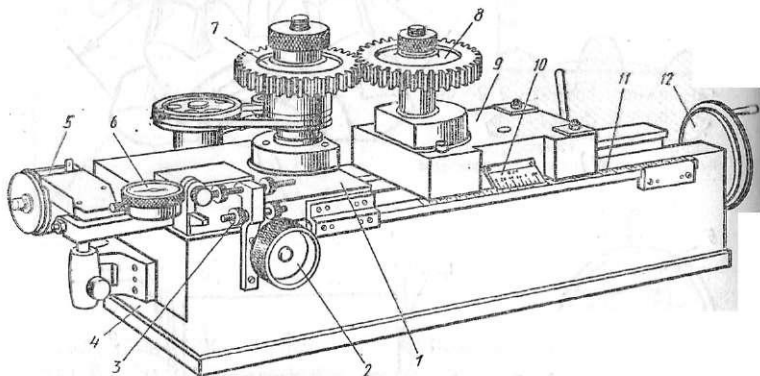


Рис. 9.8. Межцентромер

бой станину 4, по направляющим которой переставной суппорт 9 переставляется рукояткой 12 с отсчетом положения по шкале 11 и нониусу 10. В суппорте 9 укрепленна оправка, на которую надевают измерительное зубчатое колесо 8. На противоположном конце станины 4 на шариках катается подвижный суппорт 1, который отжимается пружиной в сторону суппорта 9. На оправку, расположенную в суппорте 1, надевается контролируемое зубчатое колесо 7. Эксцентриком 2 и винтом 3 подвижной суппорт 1 с самописцем 5 ставят в среднее положение в его диапазоне катания по станине, а по его торцу устанавливают на «0» измерительную головку 6.

По максимальной величине колебания стрелки в пределах поворота контролируемого колеса на один зуб судят о колебании измерительного межосевого расстояния  $f_{ir}''$  на одном зубе, а по максимальной величине колебания стрелки в пределах полного поворота контролируемого колеса — о колебании измерительного расстояния  $F_{ir}''$  в пределах полного оборота колеса.

Параметр  $F''_{ir}$  является показателем кинематической точности контролируемого колеса, а параметр  $\hat{f}''_{ir}$  — показателем плавности работы контролируемого колеса.

5. Радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr}$  (рис. 9.9, а) — наибольшая, в пределах зубчатого колеса, разность расстояний от рабочей оси этого колеса до элемента исходного контура, наложенного на профиль зубьев этого колеса. Элементом исходного профиля обычно является конический наконечник с углом профиля  $40^\circ$ .

На рис. 9.9 показано, как наконечник 1, введенный во впадину между зубьями (вверху рисунка), имеет расстояние  $r_1$  до оси колеса, а после поворота, введенный снизу (условно), имеет расстояние  $r_2$  до этой же оси (угол поворота колеса может и не равняться  $180^\circ$ ). Наибольшая разность между  $r_2$  и  $r_1$ , выявленными в пределах одного колеса, и

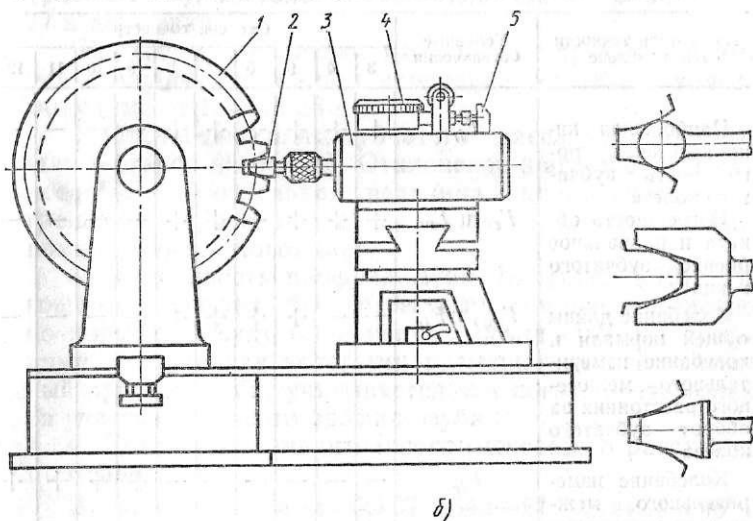
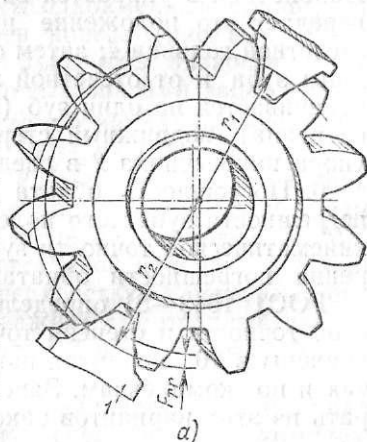


Рис. 9.9. Радиальное биение зубчатого венца:

а — колебание элемента исходного контура, наложенного на зубчатый венец,  
б — биеннемер

есть величина радиального биения зубчатого венца этого колеса.

Для измерения радиального биения зубчатого венца применяют *биениемеры* (рис. 9.9, б), в которых между зубчатым колесом и отсчетной головкой располагают подвижный стержень 7 с выступом 5. На торце стержня укреплен измерительный наконечник 2 с конусом  $40^\circ$ . Наконечник 2 упирается во впадину колеса, а выступ 5 передает это положение измерительному наконечнику отсчетной головки 4; затем стержень 3 отводится от впадины зуба и от отсчетной головки зубчатое колесо поворачивается на один зуб (или на заданное число зубьев венца), подвижный стержень посылается вперед до упора наконечника 2 в следующую впадину и т. д.

6. Погрешность обката  $F_{cr}$  — часть кинематической погрешности зубчатого колеса, вызванная отклонением кинематической точности зуборезного станка. Для измерения погрешности обката применяют *кинематометр*.

ГОСТ 1643—81 определены показатели кинематической точности и степени точности, эти показатели установлены в 10 вариантах как по отдельным параметрам, так и по комплексам. Завод-изготовитель вправе выбирать из этих вариантов такой, какой наиболее подходит

#### 15. Показатели кинематической точности и степени точности

Показатели точности или комплекс	Условные обозначения	Степени точности									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса	$F'_{ir}$	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца	$F_{cr}$ и $F_{rr}$	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Колебание длины общей нормали и колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса	$F_{vwr}$ и $F''_{ir}$	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
Колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса	$F''_{ir}$	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+



по типу изготавливаемого зубчатого колеса и по наличию средств измерения. В табл. 15 приведены четыре варианта.

**Показатели и параметры плавности работы зубчатого колеса.** 1. Отклонение шага зацепления  $f_{pbr}$  (основной шаг — старое название). Шаг зацепления  $P_{br}$  есть кратчайшее расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным боковым поверхностям соседних зубьев колеса (рис. 9.10). Отклонение шага зацепления  $f_{pbr}$  есть разность между действительным и номинальным шагами зацепления.

Шаг зацепления  $P_{br}$  измеряют накладным шагомером для шага зацепления (рис. 9.11, а). Основанием этого шагомера является корпус 9. Шагомер имеет три наконечника: подвижный наконечник 2, соединенный с измерительным наконечником отсчетной головки 1 МИГ, встроенной в корпус 9; переставной наконечник 3 с широкой измерительной поверхностью, переставляемый винтом 8 и закрепляемый зажимом 5; опорный наконечник 4, переставляемый винтом 7 и закрепляемый зажимом 6.

Шагомер зацепления устанавливается на номинальный размер с помощью специального комплекта (рис. 9.11, б), состоящего из боковиков 10, блока КМД 11 и державки 12.

Шагомеры зацепления изготавливают трех типоразмеров с общим диапазоном измерения зубчатых колес с модулями от 1,75 до 28 мм.

2. Отклонение шага зубчатого колеса  $f_{ptr}$  (окружной шаг — старое название). Отклонение шага зубчатого колеса  $f_{ptr}$  есть отдельная величина кинематической погрешности, проявившаяся на повороте колеса на один номинальный угловой шаг.

3. Погрешность профиля зуба  $f_{jr}$  (рис. 9.12). Погрешность профиля  $f_{jr}$  зуба есть расстояние, измеренное по нормали между ближайшими номинальными профилями зуба, между которыми размещается действительный профиль зуба; учитывается эта погрешность только на участке активного профиля зуба.

4. Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f''_{ir}$ .

В настоящее время ГОСТ 1643—81 установлено 13 показателей плавности работы в зависимости от степени точности, в число которых входят и отдельные параметры и комплексы из них. В табл. 16 показаны некото-

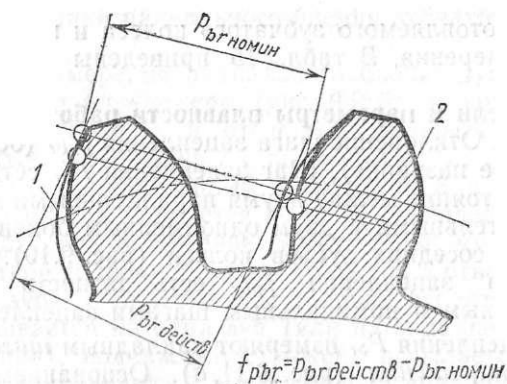


Рис. 9.10. Отклонение шага зацепления:

1 — действительное положение боковой поверхности зуба, 2 — номинальное положение боковой поверхности зуба

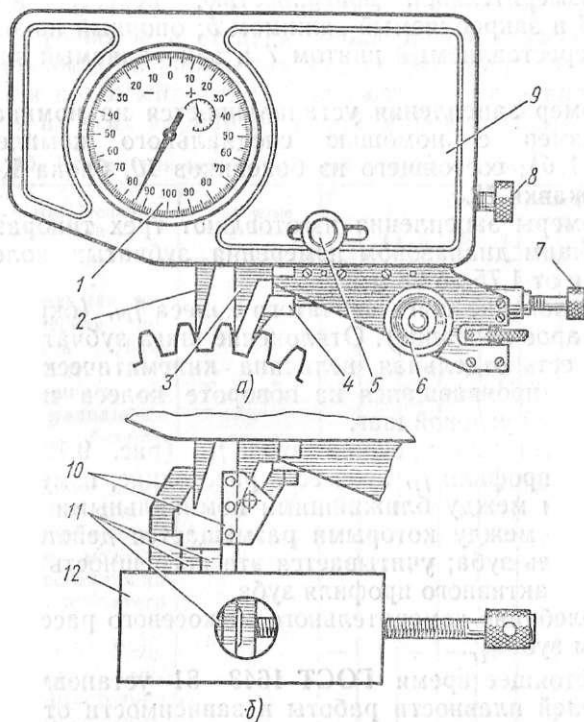


Рис. 9.11. Шагомер шага зацепления:

а — измерение шага зацепления, б — установка шагомера на размер и на «0»

## 16. Показатели плавности работы и степени точности

Показатели точности или комплекс	Условные обозначения	Степени точности									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Отклонение шага зацепления и погрешность профиля зуба	$f_{pbr}$ и $f_{jr}$	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Отклонение шага зацепления и отклонение шага	$f_{pbr}$ и $f_{ptr}$	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Колесание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	$f''_{ir}$	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-

рые из этих показателей, которые обеспечены средствами измерения, применяемыми в машиностроении.

**Показатели и параметры полноты контакта зубчатого колеса.** 1. Погрешность направления зуба  $F_{\beta r}$  — величина ее отклонения от параллельности оси зубчатого венца.

2. Отклонение от параллельности осей  $f_{xr}$  (рис. 9.13, а) и перекос осей  $f_{yr}$  (рис. 9.13, б) зубчатых колес, входящих в зацепление. Эти параметры практически относятся не к зубчатым колесам, участвующим в зацеплении, а к корпусу редуктора или коробки, в которой собирается данная передача. Измерение таких отклонений рассматривалось в нашем учебнике в гл. 5.

3. Пятно контакта. Пятно контакта бывает суммарное и мгновенное. Суммарное пятно контакта — это часть активной боковой поверхности зуба, на которой имеются следы прилегания этого зуба к поверхностям зубьев парного колеса после вращения этой передачи под нагрузкой. Под «вращени-

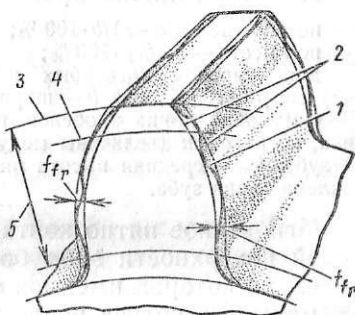


Рис. 9.12. Погрешность профиля зуба:

1 — действительный профиль, 2 — номинальные профили, приложенные к действительному профилю, 3 — окружность вершин, 4 — окружность начала среза (фланка), 5 — активный профиль зуба

ем под нагрузкой» принято понимать приработку колес передачи, которую выполняют при изготовлении передач. Размеры суммарного пятна контакта оценивают по его размерам в % относительно ширины зуба  $b$  и относительно высоты активной поверхности зуба  $h_p$  (см. рис. 9.3, в).

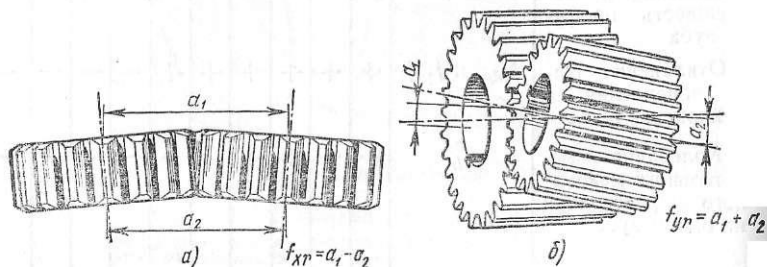


Рис. 9.13. Отклонение от параллельности осей зубчатых (а) и перекос осей зубчатых колес (б)

Подсчет величин производят по зависимостям:

по ширине —  $(a-c)/b \cdot 100\%$ ;

по высоте —  $h_m/h_p \cdot 100\%$ ;

для широких косозубых шестерен берут зависимость  $(a-c) \cdot \cos \beta / b \cdot 100\%$ , где  $b$  — ширина зуба,  $a$  — общая длина пятна,  $c$  — суммарная длина пробелов, причем учет  $c$  производится в случаях, когда  $c > t$  (величины модуля),  $h_p$  — высота активного участка зуба,  $h_m$  — средняя высота пятна на поверхности зуба,  $\beta$  — угол наклона линии зуба.

Мгновенное пятно контакта — это часть активной боковой поверхности зуба большего из пары сцепленных колес, на которой имеются следы прилегания его к зубьям меньшего колеса после проворота большего зубчатого колеса на один оборот при легком торможении.

В практике машиностроения чаще определяют мгновенное пятно контакта и получают его с помощью краски, цвет которой подбирают так, чтобы она отчетливо была видна на поверхности металла зубчатого колеса.

4. Отклонение шага зацепления  $f_{pbr}$ . Этот параметр был уже рассмотрен нами в числе параметров, характеризующих плавность работы зубчатого колеса.

5. В ГОСТ 1643—81 установлены помимо перечисленных также следующие показатели: суммарная погрешность контактной линии  $F_{kr}$  и отклонения осевых шагов по нормали  $F_{pxnr}$ . Практическое машиностроение пока

### 17. Показатели полноты контакта и степени точности

Колесо или передача	Параметр или комплекс	Условные обозначения	Степени точности										
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Прямозубые и узкие колеса	Погрешность направления зуба	$F_{\beta r}$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Передачи	Отклонения от параллельности осей и перекос осей	$f_{xr}$ и $f_{yr}$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Суммарное пятно контакта	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Мгновенное пятно контакта	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

не применяет эти параметры, так как промышленностью не выпускаются средства для их измерения.

ГОСТ 1643—81 устанавливает семь показателей полноты контакта зубчатого колеса и передачи. Часть из них является отдельными параметрами, а часть входят в комплексы (табл. 17).

**Показатели и параметры бокового зазора.** Зубья колес всегда нарезают с наименьшим гарантированным смещением исходного контура  $E_{ns}$  (рис. 9.14). Это смещение дает гарантированный боковой зазор. На это смещение установлен допуск  $T_n$ , расположенный в минус.

Рассмотрим контролируемые параметры бокового зазора и средства их измерения.

1. Собственно боковой зазор  $J_{nmin}$  (рис. 9.14, а). Величина бокового зазора измеряется в собранной передаче с помощью шупов или свинцовой проволокой, обжимаемой между зубьями в их нерабочем пространстве при проворачивании зацепленной пары. Измерение толщины, полученной при обжатии, выполняют гладким микрометром.

2. Величина наименьшего смещения исходного контура  $E_x$  измеряется *зубомером смещения* (тангенциаль-

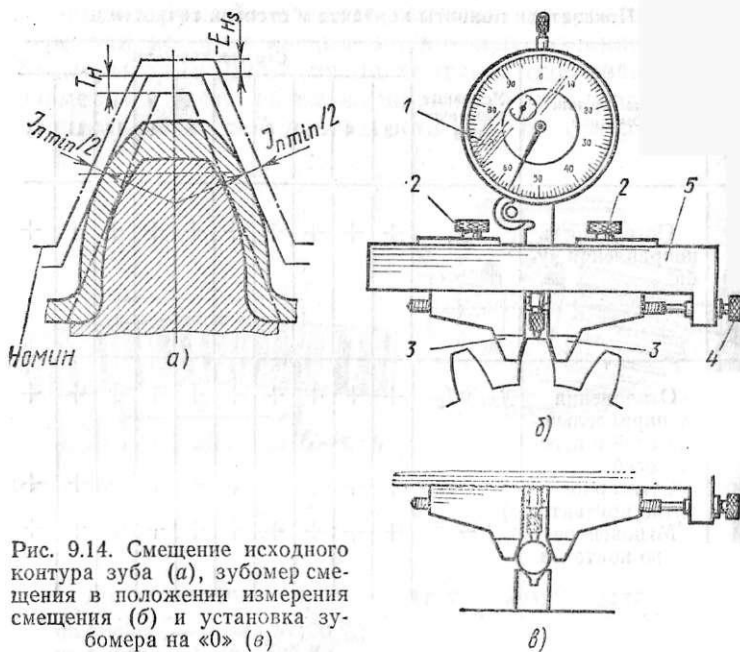


Рис. 9.14. Смещение исходного контура зуба (а), зубомер смещения в положении измерения смещения (б) и установка зубомера на «0» (в)

ным зубомером) (рис. 9.14, б). Этот зубомер является широко применяемым средством измерения.

Основанием зубомера смещения является корпус 5, в пазу которого установлены с помощью винтов 2 и перемещаются измерительные губки 3. Эти губки имеют измерительные плоскости, расположенные под общим углом  $40^\circ$ . Губки 3 переставляются общим винтом 4, имеющим два отдельных участка резьбы с одинаковым шагом, но разным направлением винтовой поверхности (правая и левая резьбы). Благодаря этому губки 3 передвигаются одним винтом 4, сохраняя симметричность относительно оси измерительного стержня отсчетной головки 1, снабженной удлиненным наконечником.

Зубомер смещения устанавливается на номинальный размер по установочным роликам, диаметр которых изготовлен в зависимости от величины модуля зуба измеряемого колеса.

3. Отклонение толщины зуба  $E_c$  и допуск на его толщину  $T_c$ . Эти показатели измеряются *штангензубомером* и *индикаторно-микрометрическим зубомером ЗИМ*.

Штангензубомер (рис. 9.15) как бы скомпонован из двух штангенинструментов — штангенциркуля и штангенглубиномера. Он имеет штангу установки высоты 1 со шкалой и неподвижной губкой 3, на ней рамку с нониусом 2. На рамке снизу укреплена высотная линейка 4. К штанге 1 перпендикулярно ей, укреплена штанга 5 измерения толщины зуба, имеющая шкалу, рамку, нониус 0,02 мм и подвижную губку 6.

Значительно точнее, удобнее и производительнее в измерениях толщины зуба индикаторно-микрометрический зубомер ЗИМ. Рассмотрим коротко его устройство (рис. 9.16).

Основанием ЗИМ служит корпус 3, на котором вертикально укреплена микрометрическая головка 4 для установки высоты линейки 12. В корпусе 3 горизонтально укреплена микрометрическая головка 9 для измерения толщины зуба и неподвижная губка 13. Внутри корпуса 3 перемещается измерительный стержень 8, с которым винтом 6 соединяется подвижная губка 11. Положение губки 11 штифтом 7 и рычагом 2 передается наконечнику отсчетной головки 1 — здесь обычно ставится индикатор часового типа ИЧ-5. Высота головки зуба устанавливается по микропаре 4, номинальная толщина зуба — по микропаре 9 и обе закрепляются зажимами 10 и 5. Зубомер устанавливается высотной линейкой на вершину зуба колеса и отклонения толщины зуба от номинального размера отсчитываются по головке 1.

Зубомеры ЗИМ выпускаются промышленностью в типоразмерах ЗИМ16 для модулей до 16 мм и ЗИМ32 — для модулей от 32 мм.

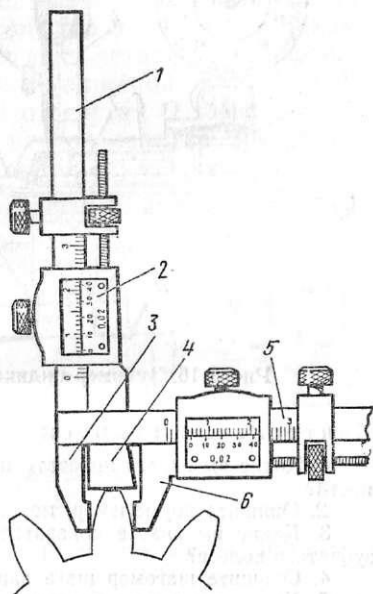


Рис. 9.15. Штангензубомер

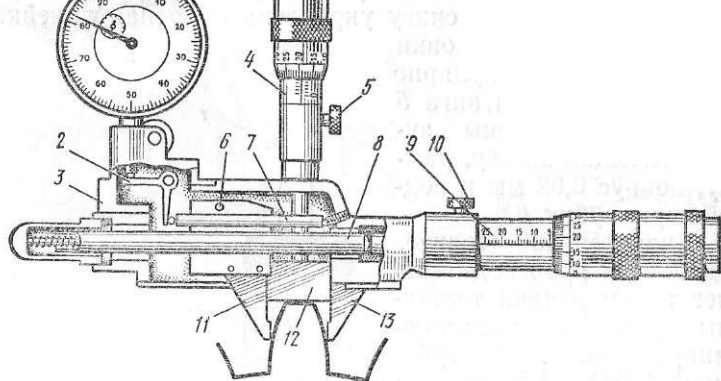


Рис. 9.16. Зубомер индикаторно-микрометрический

### Контрольные вопросы

1. Какие вы знаете показатели и параметры кинематической точности?
2. Опишите нормалемер, межцентромер и биеннемер.
3. Какие вы знаете показатели и параметры плавности работы зубчатого колеса?
4. Опишите шагомер шага зацепления и шагомер шага.
5. Какие вы знаете показатели и параметры полноты контакта, пятна контакта?
6. Какие вы знаете показатели и параметры бокового зазора?
7. Опишите зубомер смещения, штангензубомер и зубомер индикаторно-микрометрический (ЗИМ).

## ГЛАВА 10. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЯХ

### § 10.1. Состав размерной цепи

На рис. 10.1 дано изображение вала во втулке с зазором. Вал с размером  $d$  расположен во втулке с размером отверстия  $D$ , а между ними имеется зазор величиной  $S$ . Как мы знаем, эти размеры взаимосвязаны: если увеличим размер вала  $d$ , то размер зазора  $S$  уменьшится, а если увеличим размер отверстия  $D$ , то размер зазора  $S$  увеличится. В данном случае мы имеем замкнутый контур, составленный из трех размеров, последовательно примыкающих друг к другу. Размер отверстия  $D$



проходит сверху вниз до нижней образующей, здесь к нему примыкает и идет вверх размер вала  $d$ , а замыкает контур размер зазора  $S$ . Это значит, что размеры  $D$ ,  $d$ , и  $S$  составляют размерную цепь.

Теперь немного усложним условия. Рассмотрим часть редуктора, показанную на рис. 10.2. Здесь, в корпусе, на валу расположено зубчатое колесо с шайбами по бокам и обозначены осевые размеры этих деталей. Размер вала  $d$  заменен группой размеров: толщиной шайб  $A_1$  и  $A_3$  и шириной втулки  $A_2$ . Размер отверстия  $D$  заменен расстоянием  $A_4$  между торцами втулок корпуса. Замыкает контур размер зазора  $A_\Delta$ . В данном случае мы тоже имеем замкнутый контур, составленный из ряда взаимосвязанных, последовательно примыкающих друг к другу размеров, иначе говоря, образующих размерную цепь. Эта цепь в сборке определяет взаимное расположение поверхностей деталей.

*Размерной цепью*

называется совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей одной или нескольких деталей (ГОСТ 16319—80).

Размеры, входящие в размерную цепь, называют звеньями. На рис. 10.1 звеньями являются диаметральный размер  $d$ ,  $D$  и  $S$ , а на рис. 10.2,  $a$  звеньями являются размеры, параллельные оси вала —  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  и  $A_\Delta$ . В размерную цепь могут входить размеры любого типа: линейные размеры — диаметральный, осевые, расстояния между осями, между поверхностями, зазоры, натяги, отклонения формы и отклонения расположения поверхностей и т. п.; угловые размеры — углы между плоскостями, между осями, между осью и плоскостью и т. п.

Звенья размерной цепи разделяются на *составляющие звенья* и на *замыкающее звено* (исходное). Замыкающее звено — это звено, которое получается последним при сборке или при изготовлении. Когда ведется расчет

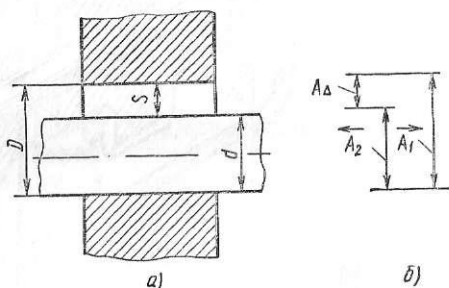


Рис. 10.1. Размерная цепь в посадке с зазором:

$a$  — посадка с зазором,  $b$  — размерная схема

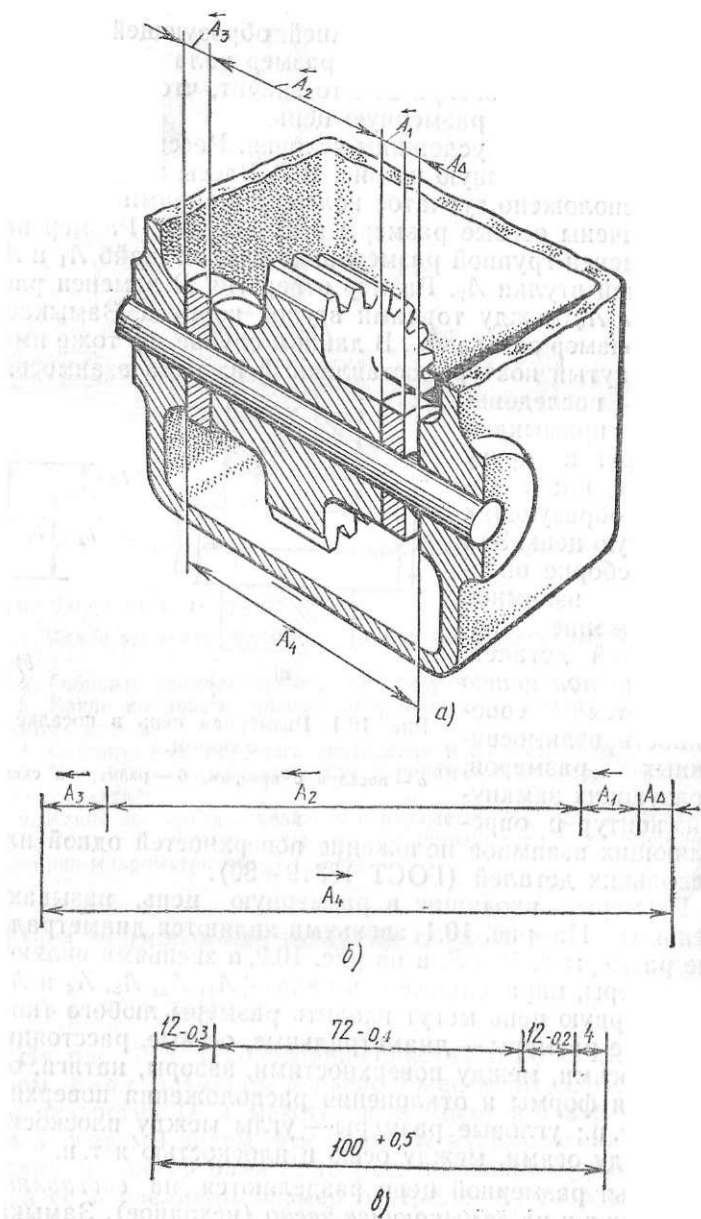


Рис. 10.2. Размерная цепь в редукторе (а), схема размерной цепи редуктора (б) и размеры звеньев (в)

размерной цепи, то к этому звену предъявляются основные требования в отношении точности данной сборки или данной детали.

Остальные звенья, составляющие цепь, по своему влиянию, оказываемому на замыкающее звено, делятся на *увеличивающие* и *уменьшающие*. Увеличивающими называют звенья, при увеличении которых увеличивается и замыкающее звено. Уменьшающими называют звенья, при увеличении которых уменьшается замыкающее звено. Например, на рис. 10.2 звенья  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  являются уменьшающими, так как при их увеличении замыкающий цепь зазор  $A_4$  станет меньше, а вот звено  $A_5$  является увеличивающим, так как если это звено увеличится, то увеличится и замыкающее звено  $A_4$ .

## § 10.2. Виды размерных цепей

В машиностроении наиболее применяемыми являются две группы размерных цепей:

различающиеся по месту в машине — деталильные и сборочные;

различающиеся по расположению звеньев в цепи — линейные, угловые, плоские, пространственные.

*Детальная* размерная цепь — это цепь, звеньями которой являются размеры одной детали. На рис. 10.3 показаны два варианта простановки размеров на чертеже, отличающиеся штриховыми и сплошными размерными линиями.

*Сборочная* размерная цепь — это цепь, звеньями которой являются размеры отдельных де-

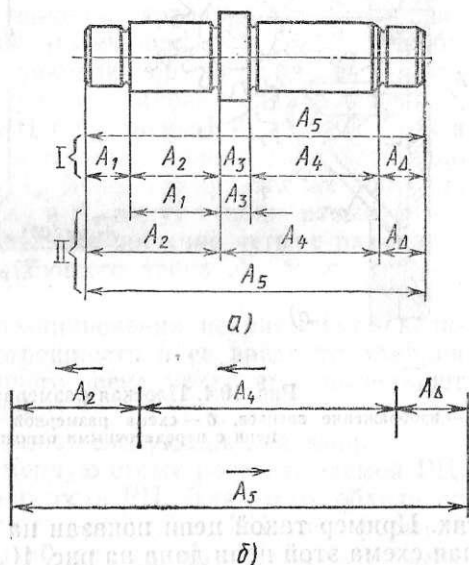


Рис. 10.3. Детальная размерная цепь с большим и меньшим числом звеньев (а) и схема детальной размерной цепи (б)

талей. Такая цепь определяет точность расположения заданных поверхностей данной сборочной единицы или всей машины. Размерная схема этой цепи дана на рис. 10.2, б.

*Линейная* размерная цепь — это цепь, звеньями которой являются линейные размеры, расположенные на параллельных прямых линиях. Примерами таких цепей служат цепи, показанные на рис. 10.2, а и 10.3, а, их размерные схемы — соответственно на рис. 10.2, б и 10.3, б.

*Угловая* размерная цепь — это цепь, звеньями которой являются угловые размеры, расположенные в одной плоскости и имеющие общую вершину.

*Плоская* размерная цепь — это цепь, звеньями которой являются линейные и угловые размеры, расположенные в одной или нескольких параллельных плоскостях.

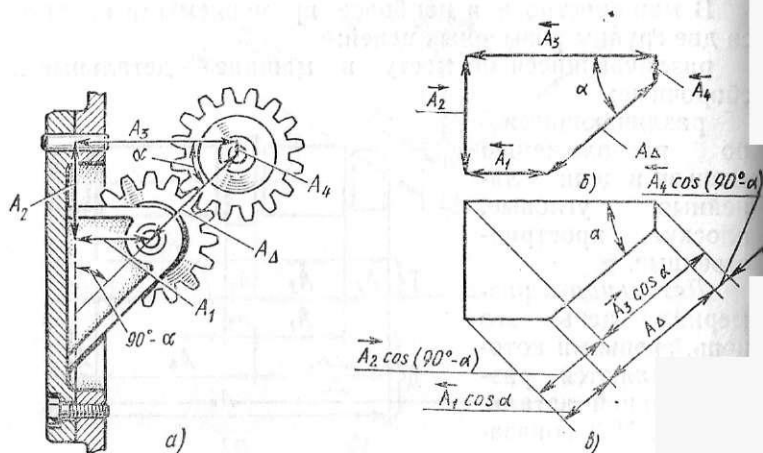


Рис. 10.4. Плоская размерная цепь:

а — изображение звеньев, б — схема размерной цепи, в — схема размерной цепи с передаточными отношениями

тях. Пример такой цепи показан на рис. 10.4, а. Размерная схема этой цепи дана на рис. 10.4, б, в.

*Пространственная* размерная цепь — это цепь, звеньями которой являются линейные и угловые размеры, расположенные в пространстве произвольно.

### § 10.3. Понятие о расчетах размерных цепей

Основной особенностью размерных цепей является то, что отклонения от номинальных размеров звеньев, которые неизбежно получаются при их изготовлении (хотя эти отклонения и находятся в пределах допусков на размеры звеньев), складываются в *суммарную ошибку*, так называемую *накопленную погрешность в цепи*. Чем больше звеньев в размерной цепи, тем больше величина этой накопленной погрешности, несмотря на то, что величины допусков на отдельные звенья остаются прежними.

Чтобы уменьшить величину накопленной погрешности, конструкторы при простановке размеров звеньев, входящих в размерную цепь (РЦ), стремятся прежде всего уменьшить количество самих звеньев.

На рис. 10.3, б даны два вида простановки размеров: РЦI — со штриховыми размерными линиями и РЦII — со сплошными размерными линиями. В РЦI имеется четыре уменьшающие размера  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  и один увеличивающий размер  $A_5$ . Отклонения всех четырех уменьшающих звеньев сложатся и дадут накопленную уменьшающую погрешность, которая соответственно отразится на точности замыкающего звена  $A_\Delta$ . Чтобы уменьшить величину накопленной погрешности, конструктор применил другую простановку размеров детали, в которой получил РЦ без звеньев  $A_1$  и  $A_3$ . Теперь в РЦII вошли два уменьшающих звена  $A_2$  и  $A_4$  и одно увеличивающее звено  $A_5$ . Ясно, что при тех же допусках на обработку звеньев  $A_2$  и  $A_4$  дадут в цепи меньшую накопленную погрешность, чем прежние четыре размера в РЦI, и ошибка замыкающего звена  $A_\Delta$  будет в РЦII меньше, чем в РЦI.

Чтобы избежать возникновения неприемлемой величины накопленной погрешности и ее вредного влияния на точность замыкающего звена механизма, выполняют расчет размерных цепей.

При расчете выполняют следующие действия:

1. Составляют размерную схему рассчитываемой РЦ.
2. Проверяют замкнутость РЦ. Для этого, обходя по ее контуру, составляют уравнение РЦ по формуле  $K_1A_1 + K_2A_2 + \dots + K_nA_n = 0$ , где  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  — номинальные размеры звеньев РЦ, а  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$  — коэффициенты, характеризующие расположение звеньев цепи по их направлению и величине, иначе называемые

передаточными отношениями. В линейных РЦ принимают  $K=1$ , причем считают для уменьшающих звеньев  $K$  со знаком минус, а для увеличивающих звеньев —  $K$  со знаком плюс.

Например, для РЦ на рис. 10.4, исходя из ее линейного характера, получим уравнение:  $A_1 - A_2 - A_3 + A_4 - A_{\Delta} = 0$ . Решаем это уравнение относительно  $A_{\Delta}$  и получим  $A_{\Delta} = A_4 - (A_1 + A_2 + A_3)$ , отсюда  $A_{\Delta} = \sum^m A_{ув} - \sum^n A_{ум}$ , где  $m$  — количество увеличивающих звеньев,  $n$  — количество уменьшающих звеньев.

Получается, что для линейных цепей номинальный размер замыкающего звена равен разности сумм номинальных размеров увеличивающих звеньев и сумм номинальных размеров уменьшающих звеньев.

3. Определяют тип задачи расчета — прямая или обратная.

*Прямая задача:* по заданному номинальному размеру и допуску замыкающего звена определить номинальные размеры, допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев данной РЦ. Эту задачу решают при конструировании машины.

*Обратная задача:* по заданным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев определить номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена данной цепи. Эту задачу решают во время изготовления машины и при проверке правильности выполненного расчета РЦ. Необходимость в решении обратной задачи зачастую возникает в цехе при сборке машины, если условия собираемости не получаются.

4. Выбирают метод получения необходимой точности замыкающего звена РЦ. Размерные цепи в машинах часто замыкаются звеном, требующим высокой точности изготовления (с малым допуском) при большом количестве звеньев в цепи. Такое положение встречается в двигателях внутреннего сгорания, в редукторах, в турбинах и других точных машинах. Поэтому в машиностроении применяют целый ряд методов достижения требуемой точности замыкающего звена РЦ, а именно:

- метод полной взаимозаменяемости;
- расчет с применением теории вероятностей;
- метод групповой взаимозаменяемости;
- метод пригонки;
- метод регулирования.

Рассмотрим расчет линейной размерной цепи по методу полной взаимозаменяемости с подсчетом максимума — минимума замыкающего звена.

Для выполнения такого расчета необходимо иметь в своем распоряжении следующие данные: номинальные размеры всех звеньев рассчитываемой цепи (мы их получим на рис. 10.2, б); предельные размеры всех составляющих звеньев — мы их получим в рабочих чертежах деталей механизма (ведь по условию нами решается обратная задача).

По размерной схеме (рис. 10.2, б), используя ее замкнутый контур, определяем предельные размеры замыкающего звена. Для этого

применяем следующие формулы:  $A_{\Delta\max} = \sum^m A_{ув\max} - \sum^n A_{ум\min}$ ; (1)

$$A_{\Delta\min} = \sum^m A_{ув\min} - \sum^n A_{ум\max}, \quad (2)$$

где  $A_{\Delta\max}$  — наибольший предельный размер замыкающего звена,

$A_{\Delta\min}$  — наименьший предельный размер замыкающего звена,

$A_{ув\max}$  — наибольшие предельные размеры увеличивающих звеньев,

$A_{ув\min}$  — наименьшие предельные размеры увеличивающих звеньев,

$A_{ум\max}$  — наибольшие предельные размеры уменьшающих звеньев,

$A_{ум\min}$  — наименьшие предельные размеры уменьшающих звеньев.

Вычтем из формулы (1) формулу (2). Получим:

$$A_{\Delta\max} - A_{\Delta\min} = \left( \sum^m A_{ув\max} - \sum^m A_{ув\min} \right) + \left( \sum^n A_{ум\max} - \sum^n A_{ум\min} \right).$$

Очевидно, что  $A_{\Delta\max} - A_{\Delta\min} = T_{\Delta}$ ;

$$\sum^m A_{ув\max} - \sum^m A_{ув\min} = \sum^m T_{ув} \quad \text{и} \quad \sum^n A_{ум\max} - \sum^n A_{ум\min} = \sum^n T_{ум},$$

где  $T_{\Delta}$  — допуск замыкающего звена,  $\sum^m T_{ув}$  — сумма допусков увеличивающих составляющих звеньев, а  $\sum^n T_{ум}$  — сумма допусков уменьшающих составляющих звеньев.

Отсюда  $T_{\Delta} = \sum^{m+n} T_i$ , где  $T_i$  — допуск составляющего звена РЦ (увеличивающего и уменьшающего звеньев).

**Вывод:** допуск замыкающего звена линейной размерной цепи равен сумме допусков всех составляющих звеньев (увеличивающих и уменьшающих).

Этот вывод подтверждает приводимое раньше положение, что в РЦ имеется накопленная погрешность, слагающаяся из допусков составляющих звеньев цепи.

**Пример расчета размерной цепи.** Рассчитать размерную цепь механизма, данного на рис. 10.2.

1. Составляем размерную схему РЦ (рис. 10.2, б). Размеры звеньев цепи заданы с предельными отклоне-

ниями:  $A_1=12_{-0,3}$ ;  $A_2=72_{-0,4}$ ;  $A_3=12_{-0,2}$ ;  $A_4=100^{+0,5}$ ;  $A_{\Delta}=4,0$  (рис. 10.2, в).

2. Проверяем замкнутость цепи и номинальные размеры звеньев, составляющих цепь, по размерной схеме и находим величину замыкающего размера  $A_{\Delta}=A_4 - (A_1+A_2+A_3) = 100 - (12+72+12) = 4$ . Цепь замкнута.

3. Определяем тип задачи — задача задана обратная, так как номинальные размеры, предельные отклонения и допуски размеров звеньев заданы по условию рассматриваемого примера.

4. Выбираем метод достижения требуемой точности замыкающего звена. По условиям работы данной размерной цепи нет необходимости в высокой точности замыкающего звена, а потому применяем метод полной взаимозаменяемости. Проверяем выбор расчетом величины допуска замыкающего звена.

$$A_{\Delta \max} = \sum_{y \in \text{ув}}^m A_{y \max} - \sum_{y \in \text{ум}}^n A_{y \min} = 100,5 - (11,7 + 71,6 + 11,8) = 5,4$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{y \in \text{ув}}^m A_{y \min} - \sum_{y \in \text{ум}}^n A_{y \max} = 100 - (12,0 + 72,0 + 12,0) = 4,0$$

$$T_{\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = (\sum_{y \in \text{ув}}^m A_{y \max} - \sum_{y \in \text{ув}}^m A_{y \min}) + (\sum_{y \in \text{ум}}^n A_{y \max} - \sum_{y \in \text{ум}}^n A_{y \min})$$

$$T_{\Delta} = 5,4 - 4,0 = (100,5 - 100) + [(12,0 + 72,0 + 12,0) - (11,7 + 71,6 + 11,8)]$$

$$T_{\Delta} = 0,5 + 0,9 = 1,4 \text{ мм.}$$

Как показал расчет, замыкающее звено  $A_{\Delta}$  будет иметь допуск  $T_{\Delta} = 1,4$  мм.

## § 10. Методы компенсации накопленных погрешностей в размерных цепях

**Метод пригонки** (рис. 10.5). При этом методе меха-

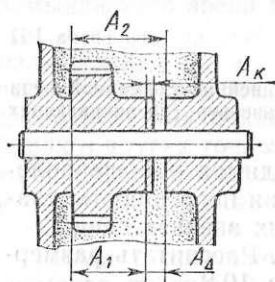


Рис. 10.5. Метод пригонки звена  $A_K$

низм собирают по принципу полной взаимозаменяемости деталей, являющихся составляющими звеньями, и измеряют получившийся действительный размер  $A_{\Delta}$  замыкающего звена. Потом пригоняют (подрезают) размер  $A_K$  последней детали (ближайшей к  $A$ ) до такой величины, чтобы в сборке получить размер  $A$  с допуском, который требуется по чертежу. Очевидно, что предварительный раз-



мер  $A_k$  изготавливается с соответствующим припуском под подрезку.

### Метод регулирования:

1. Регулировка передвижным компенсатором с фиксацией требуемого положения (рис. 10.6, а). При этом методе в конструкции механизма предусматривают передвижной компенсатор. На рис. 10.6, а эту задачу выполняет втулка (подвижный компенсатор). Сборка осуществляется с полной взаимозаменяемостью деталей, входящих в РЦ, после чего компенсатор сдвигается в положение, при котором замыкающий размер  $A_\Delta$  получают в пределах заданного допуска  $T_\Delta$ . В этом положении во втулке сверлится отверстие под фиксаторный штифт, которым закрепляется выполненный размер замыкающего звена  $A_\Delta$ :

2. Регулировка подбором компенсатора (рис. 10.6, б). При этом методе в конструкции механизма предусмат-

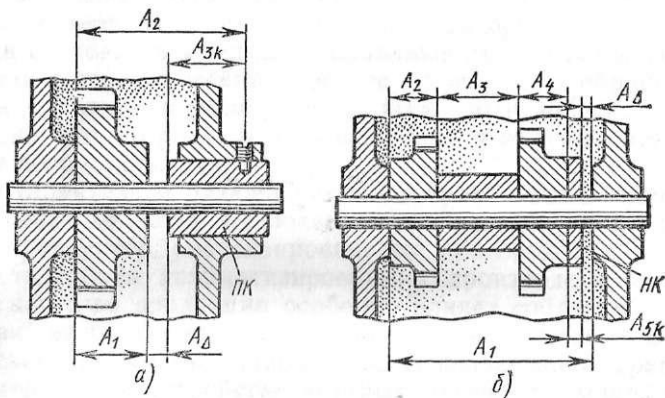


Рис. 10.6. Метод регулирования:

а — передвижным компенсатором ПК, б — подбором величины неподвижного компенсатора НК

ривается специальная шайба-компенсатор  $A_{5k}$ . В сборочном цехе заготавливаются эти шайбы разной толщины. Разница в размерах  $A_{5k}$  шайб-компенсаторов предусматривается с таким расчетом, чтобы после сборки остальных деталей РЦ с полной взаимозаменяемостью из этих

шайб-компенсаторов можно было выбрать по толщине такую, которая компенсировала бы накопленную в данном случае погрешность и при постановке в механизм создала бы размер  $A_{\Delta}$  в пределах допуска  $T_{\Delta}$ .

#### Контрольные вопросы

1. Что такое составляющие звенья и замыкающее звено?
2. Какие виды размерных цепей встречаются в машинах?
3. Что такое прямая и обратная задачи расчета размерных цепей?
4. Как выполняется компенсация накопленной погрешности методом пригонки, а как методом регулирования?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное машиностроение следует рассматривать как производство, основанное на взаимозаменяемости, обладающее высокой производительностью и в большинстве своем создающее точные машины и механизмы при высоком качестве изготовления.

Научно-техническая революция практически была бы невысказима без взаимозаменяемости в машиностроении. Как мы увидели в учебнике, современные измерительные средства обеспечивают взаимозаменяемость, так как без них невозможно изготовление размеров в пределах допуска, а если не выдержан допуск, то не будет обеспечена взаимозаменяемость. Мало того, современные средства измерения в автоматизированном производстве машин становятся командно-управляющими, активно ведущими технологический процесс, прекращая обработку при достижении размера в пределах поля допуска. Очевидно, что эта роль средств измерения в будущем все будет возрастать.

Характерной особенностью современного машиностроения является все более широкое внедрение автоматизированного, роботизированного производства, в том числе гибких автоматизированных производств. В них на качество продукции особенно влияет соблюдение условий взаимозаменяемости, рациональное назначение допусков и посадок, наибольшее использование средств измерения, в устройстве которых применена микропроцессорная техника.

## Допуски углов из ГОСТ 8909—81

Интервал длин, мм	Обозна- чение допуска	Единицы измерения	Степень точности														
			9	10	11	12	13	14	15	16	17						
Св. 25 до 40	$AT_{\alpha}$	мкрад	1000	1600	2500	4000	6300	10 000	16 000	25 000	40 000						
	$AT'_{\alpha}$	...°	3'26"	5'30"	8'35"	13'44"	21'38"	34'23"	45'	1°25'57"	2°17'30"						
	$AT^h_{\alpha}$ $AT^h_{\alpha D}$	мкм	25—40	40—63	63—100	100—160	160—250	250—400	400—630	0,63—1	1—1,6						
Св. 50 до 63	$AT_{\alpha}$	мкрад	800	1240	2000	3150	5000	8000	12 500	20 000	31 500						
	$AT'_{\alpha}$	...°	2'45"	4'18"	6'52"	10'49"	17'10"	27'28"	42'58"	1°8'45"	1°48'17"						
	$AT^h_{\alpha}$ $AT^h_{\alpha D}$	мкм	32—50	50—80	80—125	125—200	200—320	320—500	500—800	0,8—1,25	1,25—2						
Св. 63 до 100	$AT_{\alpha}$	мкрад	630	1000	1600	2500	4000	6300	10 000	16 000	25 000						
	$AT'_{\alpha}$	...°	2'10"	3'26"	5'30"	8'35"	13'44"	21'38"	34'23"	55'	1°25'57"						
	$AT^h_{\alpha}$ $AT^h_{\alpha D}$	мкм	40—63	63—100	100—160	160—250	250—400	400—630	630—1000	1—1,6	1,6—2,5						

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганевский Г. М. Основы взаимозаменяемости. Учебные плакаты. — М.: Высшая школа, 1982.
2. Ганевский Г. М., Константинов В. М. Средства измерения и контроля в машиностроении. Учебные плакаты. — М.: Высшая школа, 1984.
3. Иванов А. Г. Измерительные приборы в машиностроении. — М.: Издательство стандартов, 1981.
4. Марков Н. Н. Взаимозаменяемость и технические измерения. — М.: Издательство стандартов, 1983.
5. Марков Н. Н., Ганевский Г. М. Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. — М.: Машиностроение, 1981.
6. Мягков В. Д., Палей М. А. и др. Допуски и посадки. Справочник. — Л.: Машиностроение, 1982.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>Глава 1. Основные сведения о размерах и сопряжениях . . . . .</b>	<b>7</b>
§ 1.1. Линейные размеры, отклонения и допуски линейных размеров . . . . .	7
§ 1.2. Посадки . . . . .	18
§ 1.3. Основные понятия о взаимозаменяемости, стандартизации и качестве продукции . . . . .	25
<b>Глава 2. Допуски и посадки гладких элементов деталей . . . . .</b>	<b>34</b>
§ 2.1. Единая система допусков и посадок СЭВ (ЕСДП СЭВ) . . . . .	34
§ 2.2. Основные сведения о системе допусков и посадок ОСТ . . . . .	60
§ 2.3. Примеры применения посадок ЕСДП СЭВ и системы ОСТ . . . . .	66
<b>Глава 3. Основы технических измерений . . . . .</b>	<b>69</b>
§ 3.1. Основные определения . . . . .	69
§ 3.2. Средства измерения . . . . .	70
§ 3.3. Виды и методы измерения . . . . .	79
§ 3.4. Погрешности измерения . . . . .	81
<b>Глава 4. Средства для измерения линейных размеров . . . . .</b>	<b>85</b>
§ 4.1. Меры длины . . . . .	85
§ 4.2. Штангенинструменты . . . . .	89
§ 4.3. Микрометрические инструменты . . . . .	94
§ 4.4. Измерительные головки . . . . .	97
§ 4.5. Нутромеры и глубиномеры со стрелочными отсчетными головками . . . . .	102
§ 4.6. Скобы с отсчетными устройствами . . . . .	106
§ 4.7. Головки измерительные пружинные . . . . .	112
§ 4.8. Штативы и стойки . . . . .	116
§ 4.9. Понятие о приборах с оптическим преобразованием . . . . .	119
§ 4.10. Средства измерения с электрическим преобразованием . . . . .	124
§ 4.11. Средства измерения с пневматическим преобразованием . . . . .	127
§ 4.12. Калибры гладкие . . . . .	130
§ 4.13. Понятие об активном контроле . . . . .	135
§ 4.14. Выбор средств измерения . . . . .	145

<b>Глава 5. Допуски формы и расположения поверхностей. Шероховатость поверхности</b>	147
§ 5.1. Погрешности поверхностей деталей машин	147
§ 5.2. Допуски и отклонения формы поверхностей. Средства их измерения	149
§ 5.3. Допуски, отклонения и измерение отклонений расположения поверхностей	159
§ 5.4. Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей	165
§ 5.5. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей	168
§ 5.6. Шероховатость поверхности, ее нормирование и измерение	170
§ 5.7. Допуски для соединений с подшипниками качения	175
<b>Глава 6. Допуски, посадки и средства измерения углов и гладких конусов</b>	179
§ 6.1. Единицы измерения углов	179
§ 6.2. Допуски угловых размеров и углов конусов	180
§ 6.3. Гладкие конические соединения	181
§ 6.4. Средства измерения и контроля углов и конусов	187
<b>Глава 7. Допуски и посадки резьбовых соединений. Средства измерения и контроля резьбы</b>	195
§ 7.1. Основные термины и определения	195
§ 7.2. Основы взаимозаменяемости метрической резьбы	198
§ 7.3. Допуски и посадки метрических крепежных резьб	201
§ 7.4. Средства контроля и измерения резьбы	210
§ 7.5. Инструментальный измерительный микроскоп	216
<b>Глава 8. Допуски, посадки и средства измерения и контроля шпоночных и шлицевых соединений</b>	222
§ 8.1. Шпоночные соединения	222
§ 8.2. Шлицевые соединения	227
<b>Глава 9. Допуски, виды сопряжений и средства измерения цилиндрических зубчатых колес и передач</b>	237
§ 9.1. Особенности устройства и действия зубчатых колес и передач. Требования к их точности	237
§ 9.2. Боковой зазор	240
§ 9.3. Основные показатели точности зубчатых колес	243
<b>Глава 10. Основные понятия о размерных цепях</b>	256
§ 10.1. Состав размерной цепи	256
§ 10.2. Виды размерных цепей	259
§ 10.3. Понятие о расчетах размерных цепей	261
§ 10.4. Методы компенсации накопленных погрешностей в размерных цепях	264
<b>Заключение</b>	267
<b>Список рекомендуемой литературы</b>	269

*Учебное издание*

**Григорий Маркович Ганевский**  
**Илья Исаакович Гольдин**

**ДОПУСКИ, ПОСАДКИ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Зав. редакцией *Г. П. Стадниченко*  
Научный редактор *Ю. А. Замятин*  
Редактор *Н. А. Цветкова*  
Мл. редакторы *О. В. Каткова, А. С. Шахбанова*  
Художественный редактор *М. И. Чуринов*  
Технический редактор *Ю. А. Хорева*  
Корректор *В. В. Кожуткина*

ИБ № 6292

Изд. № М-317. Сдано в набор 01.12.86. Подп. в печать 29.06.87. Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бум. тип. № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Объем 14,28 усл. печ. л. 14,49 усл. кр.-отг. 13,55 уч.-изд. л. Тираж 100 000 экз. Зак. № 731. Цена 30 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7



**Г. М. ГАНЕВСКИЙ**  
**И. И. ГОЛЬДИН**

# **Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении**

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



**МОСКВА**  
**«ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1987**