

**Тема 2.1 Взаимозаменяемость деталей, узлов и механизмов****План**

1. Структурная модель детали
2. Основные понятия о взаимозаменяемости деталей узлов и механизмов
- 3. Понятия о точности и погрешности размера**
- 4. Размеры, предельные отклонения, допуски и посадки**
5. Взаимозаменяемость деталей по форме и взаимному расположению поверхностей
6. Волнистость и шероховатость поверхности

**Основная литература**

1. Зайцев С.А. Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении / Зайцев С.А., Толстов А.Н. Грибанов Д.Д., Куранов А.Д. : учебник для СПО.- 3-е издание. - М: Издательский центр Академия, 2019.-288с.
2. Иванов И.А., Урушев С.В., Воробьев А.А., Кононов Д.П. Метрология, стандартизация и сертификация на транспорте: учебник для СПО.- :Издательский центр «Академия», 2017.-336с.
3. Ильяков А.И. Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении/ Ильяков А.И., Марсов Н.Ю., Гутюм Л.В.: Практикум: учебное пособие для студентов Учреждений СПО.- М: Издательский центр Академия, 2017,-160с.

**Дополнительная литература**

1. Никифоров Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие – 3-е изд.испр.-М: Высшая школа, 2010.-422с;
2. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация учебник – М: Издательский центр академия, 2010.-384с.
3. ГОСТ 16263-70 ГСИ. Метрология. Термины и определения.
4. ГОСТ 4.93-83. Система показателей качества продукции.
5. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции.

**Интернет-ресурсы**

1. Csm-vrrn.ru
2. Gost.ru-
3. Электронный учебник de.ifmo.ru

### 3. Понятия о точности и погрешности размера

**Точность** в технике — это степень приближения истинного значения рассматриваемого параметра процесса или объекта к **его** заданному значению. Качество машин, их надежность и долговечность зависят в значительной мере от точности обработки деталей при изготовлении. Совершенствование и усложнение конструкций автомобилей, станков и других машин, увеличение рабочих скоростей и нагрузок требуют все более высокого качества деталей и точности обработки.

При проектировании конструктор определяет номинальные размеры и форму каждой детали, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные характеристики соединений деталей и в конечном счете — механизма или машины в целом. Однако при изготовлении деталей под влиянием многочисленных факторов, проявляющихся в процессе обработки, возникают отклонения от заданных размеров и формы.

Точность обработки часто бывает неодинаковой даже в пределах одной поверхности (в разных сечениях и точках).

Степень соответствия действительных размеров геометрическим параметрам, заданным чертежом, принято называть **точностью обработки**. Под **погрешностью обработки** понимают разность между приближенным и точным значениями некоторой величины.

При употреблении термина «точность» обычно имеют в виду качественный показатель, характеризующий отличие полученного значения параметра от заданного. Термин «погрешность» применяется для количественной оценки точности.

Для оценки точности обработки деталей принято следовать укрупненной классификации отклонений геометрических параметров:

- отклонения размера;
- отклонения расположения поверхностей;
- отклонения формы;
- волнистости поверхности;
- шероховатости поверхности.

Многочисленные факторы, влияющие на точность обработки, постоянно изменяются в процессе изготовления деталей.

**Точность элементов станка** и их **взаимное расположение** (биение шпинделя, отклонения от прямолинейности направляющих станины и суппорта, отклонения от параллельности и перпендикулярности перемещений суппорта относительно осей шпинделя, несовпадение оси центров передней и задней бабок и т.п.) влияет на точность размеров, формы и взаимного положения обрабатываемых поверхностей.

Особое значение имеет **точность элементов приспособлений**, предназначенных для установки обрабатываемой детали и определения положения режущего инструмента.

Существенное влияние на точность обработки оказывает **точность мерного инструмента** (сверла, развертки, метчики и т.п.) и **профильного**

**(фасонного) инструмента** (резцы, фрезы и т.п.), так как точность их изготовления непосредственно влияет на форму и размер обрабатываемой поверхности.

Еще одним фактором, влияющим на точность обработки деталей любым режущим инструментом, является **износ его режущей части**.

Погрешность установки инструмента чаще всего называют **погрешностью его настройки на размер**. Она возникает при первоначальной установке режущего инструмента или его замене.

Деформации элементов станка, приспособления и инструмента возникают под действием сил резания в процессе обработки. Величины этих деформаций определяются **жесткостью системы станок — приспособление — инструмент — заготовка** и зависят в основном от конструкции станка и качества его изготовления.

Погрешность обработки может возникать в результате действия сил зажима **нежестких деталей** (тонкостенные цилиндры, длинные валы, кольца и т.п.) при их закреплении и сил резания при обработке, а также перераспределения остаточных напряжений.

Деталь, поступившая на определенную операцию, имеет погрешность, возникшую на предшествующих операциях — заготовительных, промежуточных или финишных. Она влияет на точность обработки, достигаемую на данной операции, и называется **наследственной погрешностью**.

**Температура** отдельных частей станка, приспособления, инструмента и заготовки в процессе обработки изменяется неодинаково. Материалы, из которых они изготовлены, имеют разные коэффициенты линейного расширения. В результате первоначальное взаимное положение поверхностей изменяется, что является причиной появления погрешностей.

Погрешности, возникающие при изготовлении и настройке средств измерения, а также под влиянием других факторов, не позволяют определить истинные значения размеров, полученных при обработке, и вынуждают пользоваться действительными размерами.

Указанные причины непостоянны во времени. Они вызывают разные по величине отклонения геометрических параметров при обработке партии деталей. В результате их действительные размеры отличаются друг от друга — происходит так называемое **рассеяние размеров**.

#### 4. Размеры, предельные отклонения, допуски и посадки

Основные термины и определения установлены ГОСТ 25346— 89 «Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений».

Все размеры подразделяют на номинальные, действительные и предельные.

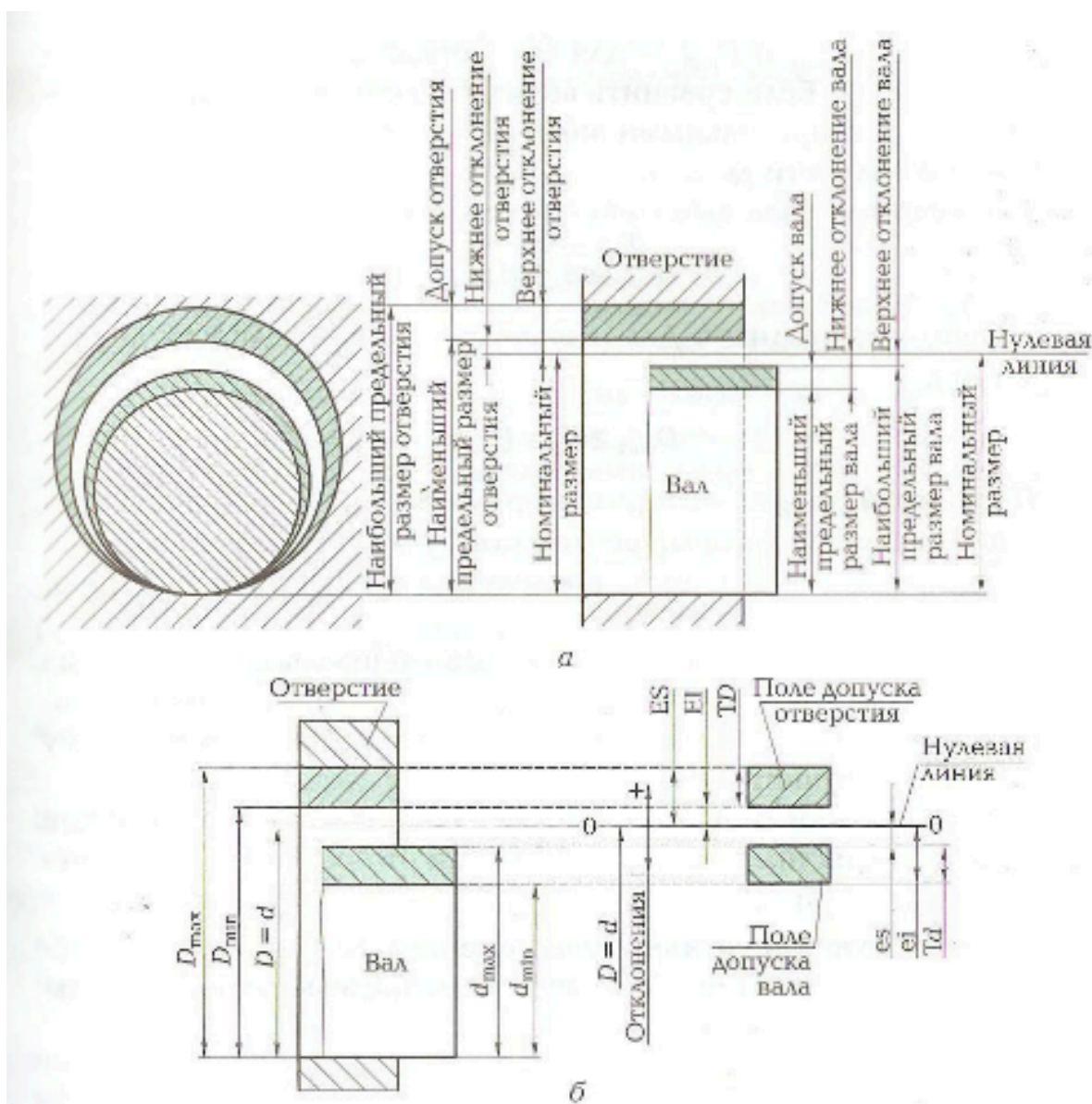
**Номинальный размер** служит началом отсчета отклонений. Относительно него определяют предельные размеры. Номинальный размер выбирают в соответствии с результатами расчета деталей при их проектировании или исходя из конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. Для деталей, входящих в соединение, номинальный размер является общим.

С целью сокращения числа типоразмеров заготовок и деталей, режущего и измерительного инструмента, а также облегчения типизации технологических процессов значения размеров, полученные при расчете, округляют, как правило, в большую сторону в соответствии со значениями нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636 — 69 «Нормальные линейные размеры».

В данном стандарте представлены четыре ряда (***Ra5***, ***Ra10***, ***Ra20*** и ***Ra40***), устанавливающих нормальные линейные размеры от 0,001 до 20 000 мм. Так, для ряда ***Ra5*** предусмотрены нормальные размеры 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0 и т.д., для ряда ***Ra10*** — 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0 и т.д., а для ряда ***Ra20*** — 1,0; 1,1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 и т.д.

Во всех случаях необходимо стремиться применять одно из основных предпочтительных чисел, указанных в стандарте. При округлении размеров следует отдавать предпочтение значениям рядов ***Ra5***, ***Ra10*** и ***Ra20*** перед значениями рядов ***Ra10***, ***Ra20*** и ***Ra40*** соответственно.

Указанный стандарт не распространяется на производные размеры, зависящие от принятых исходных размеров и параметров, в том числе на технологические межоперационные размеры, а также размеры, регламентированные в стандартах на конкретные изделия (например, средний диаметр резьбы).



*a* – понятие о размерах, отклонениях и допусках;

*б* – графическое изображение размеров, предельных отклонений, допусков и посадки

Рисунок 2.7-Размеры, отклонения, допуски и посадки

**Действительный размер** - это размер, установленный при измерении с допустимой погрешностью. Изготовить деталь с абсолютно точными размерами и измерить без учета погрешностей практически невозможно, поэтому и введено это понятие.

**Предельные размеры** — два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годной детали (рис. 2.7, а). Больший из них называется **наибольшим предельным размером**, а меньший - **наименьшим предельным размером**. Эти размеры принято обозначать  $D_{\max}$  и  $D_{\min}$  — для отверстий,  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  — для валов (рис. 2.7, б). Если сравнить величину действительного размера ( $d_d$ ,  $D_d$ ) с его предельными значениями, то можно сделать заключение о годности

детали.

Так, если для вала выполняется условие

$$d_{\max} \geq d_{\text{д}} \geq d_{\min},$$

то он считается годным. Для отверстия условие годности детали имеет вид

$$D_{\max} \geq D_{\text{д}} \geq D_{\min}$$

**Проходной предел** — термин, применяемый к одному из предельных размеров, который соответствует максимальному количеству материала, т. е. верхнему пределу для вала или нижнему пределу для отверстия (рис. 2.8, а).

**Непроходной предел** — термин, применяемый к одному из предельных размеров, который соответствует минимальному количеству материала, т. е. нижнему пределу для вала или верхнему пределу для отверстия (рис. 2.8, б).

В соответствии с ГОСТ 25346—89 для упрощения чертежей введены понятия предельных отклонений от номинального размера (см. рис. 2.7, б):

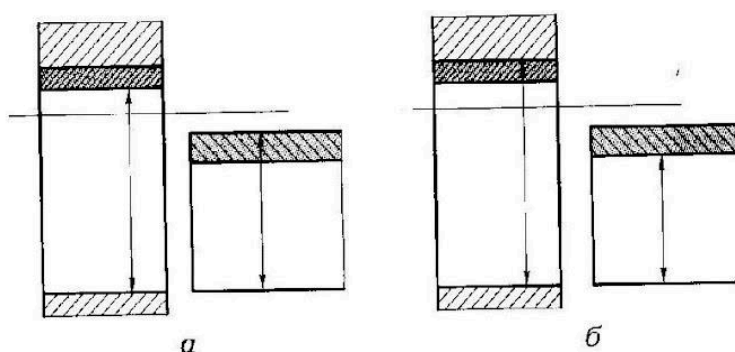


Рисунок 2.8-Проходной (а) и непроходной (б) пределы

**-верхнее предельное отклонение** (ES, es) — алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами:

$$ES = D_{\max} - D,$$

$$es = d_{\max} - d;$$

**-нижнее предельное отклонение** (EI, ei) — алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами:

$$EI = D_{\min} - D,$$

$$ei = d_{\min} - d;$$

**-действительное отклонение** — алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

Отклонения могут быть положительными, если предельный или действительный размер больше номинального, и отрицательными, если предельный или действительный размер меньше номинального.

На конструкторских и технологических чертежах номинальные и предельные размеры, а также их отклонения согласно ГОСТ 2.307—68 «ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений» указывают в миллиметрах без обозначения единицы (например,  $85_{-0,034}^{-0,013}$ ;  $42_{-0,024}^{-0,013}$ ;  $50_{-0,034}^{+0,025}$ ;  $50_{-0,022}$ ).

Угловые размеры и их предельные отклонения выражают в градусах, минутах или секундах с указанием единицы (например,  $30^{\circ}15'40''$ ).

При равенстве абсолютных значений отклонений они указывается один раз со знаком «±» рядом с номинальным размером (например,  $85 \pm 0,02$ ;  $90 \pm 5$ ).

Отклонение, равное нулю, на чертежах не проставляется. Наносят только одно отклонение: положительное — на месте верхнего предельного отклонения, а отрицательное — на месте нижнего предельного отклонения (например,  $60_{-0,022}^{+0,02}$ ;  $89_{-0,02}^{+0,02}$ ).

Одним из основных понятий, определяющих точность изготовления деталей, является **допуск**. Допуском  $T$  называют разность между наибольшим и наименьшим допустимыми значениями параметра.

Если говорят о допуске размера, то под этим понимают разности, между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютное значение алгебраической разности между верхним и нижним предельными отклонениями (см. рис. 2.7, б):

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = [ES - EI]$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = [es - ei]$$

Допуск — всегда положительная величина. От величины допуска во многом зависит качество деталей и стоимость их изготовления. С увеличением допуска качество деталей, как правило, снижается, а стоимость изготовления уменьшается.

На рис. 2.7, б (левая часть) представлено условное изображение отверстия и вала. Заштрихованная зона между наибольшим и наименьшим предельными размерами является допуском. Такая схема хотя и достаточно наглядна, но трудновыполнима в масштабе, поскольку разница между значениями номинального размера, отклонений и допусков очень большая. Поэтому применяется графическое изображение допусков и предельных отклонений в виде поля допуска (правая часть рис. 2.7, б).

**Поле допуска** — это поле, ограниченное верхним и нижним предельными отклонениями относительно номинального размера — нулевой линии.

**Нулевая линия** — это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладывают отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок. Как правило, нулевая линия располагается горизонтально, и положительные отклонения откладывают относительно нее вверх, а отрицательные — вниз.

Введены понятия «основной вал» и «основное отверстие»:

**-основной вал** — это вал, верхнее предельное отклонение которого равно нулю ( $es = 0$ );

**-основное отверстие** — это отверстие, нижнее предельное отклонение которого равно нулю ( $EI = 0$ ).

Допуск размеров охватывающих поверхностей принято сокращенно называть допуском отверстия и обозначать  $TD$ , а охватываемых поверхностей — допуском вала с условным обозначением  $Td$ .

Когда говорят о деталях, находящихся в соединении, применяют

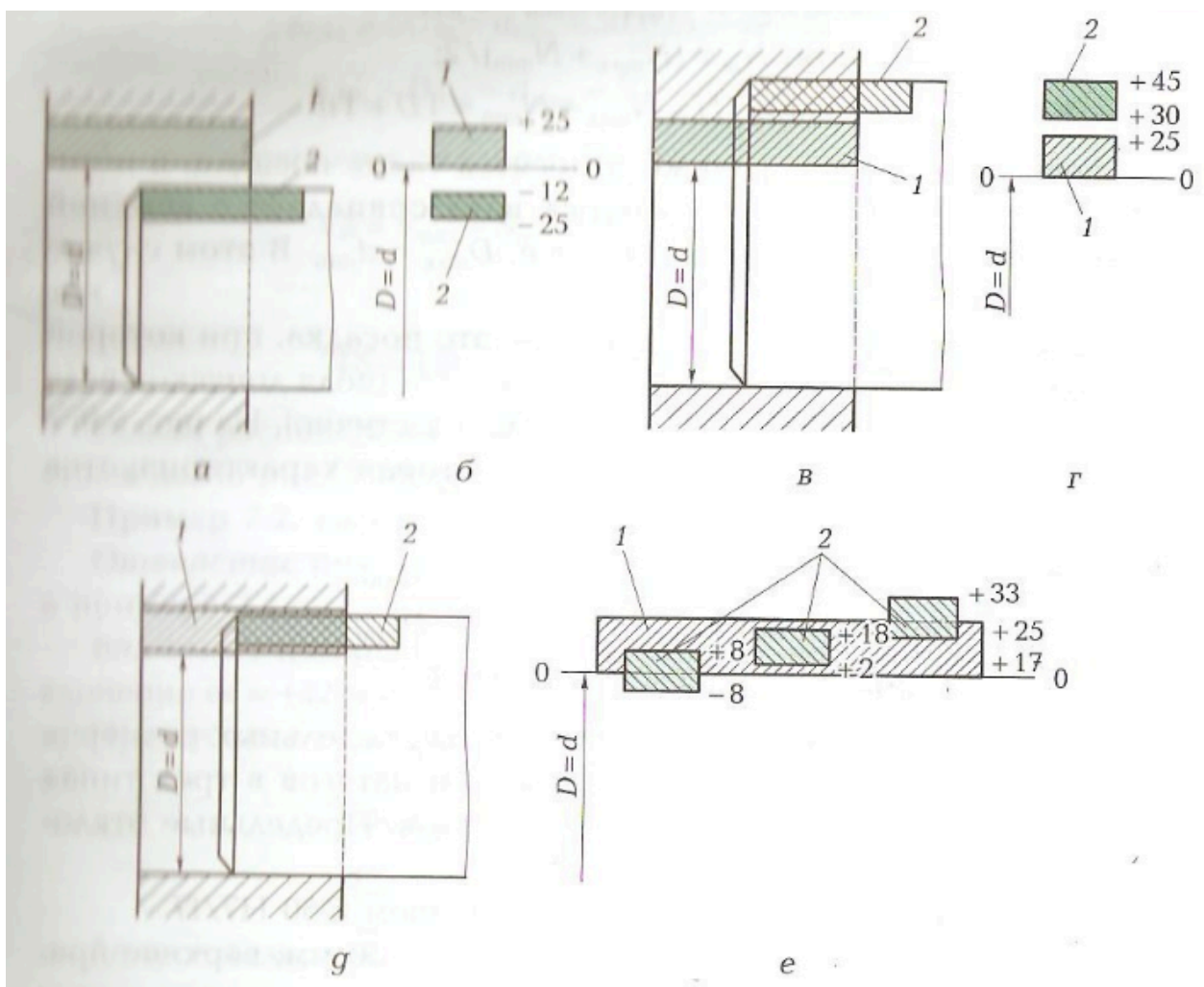


термин «посадка». **Посадкой** называется характер соединения деталей одинакового номинального размера, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов. Посадка характеризует свободу относительного перемещения деталей в соединении или степень сопротивления их взаимному перемещению.

**Зазор  $S$**  — разность размеров отверстия и вала, если размеры вала меньше размеров отверстия. Соединение с зазором допускает перемещение деталей относительно друг друга.

**Натяг  $N$**  — разность размеров вала и отверстия до сборки соединения, если размер вала больше размера отверстия. Соединение с натягом обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки.

Различают посадки с зазором, с натягом и переходные.



- а — посадка с зазором; б — графическое изображение посадки с зазором;  
 в — посадка с натягом; г — графическое изображение посадок с натягом;  
 д — переходная посадка; е — графическое изображение переходных посадок;  
 1 — поле допуска отверстия; 2 — поле допуска вала

Рисунок 2.9-Типы посадок и их графическое изображение

**Посадка с зазором** (рис. 2.9, а) — это посадка, при которой зазор в



соединении обеспечивается за счет разности размеров отверстия и вала. На рис. 2.9, б показана схема посадки с зазором.

Поле 1 допуска отверстия располагается над полем 2 допуска вала, и в любом случае в данном соединении размеры вала будут меньше размеров отверстия.

Посадка с зазором характеризуется следующими основными параметрами:

- наибольшим зазором  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ ;
- наименьшим зазором  $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$ ;
- средним зазором  $S_m = (S_{\max} + S_{\min})/2$ ;
- допуском посадки  $TS = S_{\max} - S_{\min} = TD + Td$ .

К посадкам с зазором относятся и такие посадки, в которых нижняя граница поля допуска отверстия совпадает с верхней границей поля допуска вала, т. е.  $D_{\min} = d_{\max}$ . В этом случае  $S_{\min} = 0$ .

**Посадка с натягом** (рис. 2.9, в) — это посадка, при которой натяг в соединении обеспечивается за счет разности размеров вала и отверстия. На рис. 2.9, г показана посадка с натягом. Поле 1 допуска отверстия располагается под полем 2 допуска вала, и в любом случае в данном соединении размеры вала будут больше размеров отверстия.

Основными параметрами посадки с натягом являются:

- наибольший натяг  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$ ;
- наименьший натяг  $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$ ;
- средний натяг  $N_m = (N_{\max} + N_{\min})/2$ ;
- допуск посадки  $TN = N_{\max} - N_{\min} = TD + Td$ .

К посадкам с натягом также относятся такие посадки, в которых нижняя граница поля допуска вала совпадает с верхней границей поля допуска отверстия, т. е.  $D_{\max} = d_{\min}$ . В этом случае  $N_{\min} = 0$ .

**Переходная посадка** (рис. 2.9, д) — это посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга (поля допусков вала и отверстия перекрываются полностью или частично). На рисунке 2.9, е показана схема переходной посадки, которая характеризуется следующими основными параметрами:

- наибольшим зазором  $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$ ;
- наибольшим натягом  $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$ ;
- допуском посадки  $TS(N) = TD + Td$ .

**Таблица 2.1. Условные знаки, используемые для обозначения допусков формы и расположения поверхностей**

| Группа               | Допуск                      | Знак |
|----------------------|-----------------------------|------|
| Допуски формы        | Прямолинейности             | —    |
|                      | Плоскостности               |      |
|                      | Круглости                   | ○    |
|                      | Цилиндричности              |      |
|                      | Профиля продольного сечения | ==   |
| Допуски расположения | Параллельности              | //   |

**Таблица 2.2. Примеры условных обозначений допусков формы и расположения**

| Элемент условного обозначения | Пример условного обозначения | Пояснение                                                                                                                                             |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Нормируемый участок           |                              | Допуск относится ко всей поверхности (длине) элемента                                                                                                 |
|                               |                              | Допуск относится к любому участку поверхности (элемента), имеющему заданную длину (или площадь)                                                       |
|                               |                              | Допуск относится к нормируемому участку, расположенному в определенном месте (участок обозначают штрихпунктирной линией и указывают размер)           |
| База                          |                              | Знак базы — зачерненный равнобедренный треугольник с высотой, равной размеру шрифта чисел                                                             |
|                               |                              | Если соединение рамки, имеющей обозначение допуска с базой, неудобно, то базу обозначают прописной буквой и указывают ее в третьем поле рамки допуска |