Лекция 9

3. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЙ. ДОПУСКИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ

Точность геометрических параметров деталей характеризуется не только точностью размеров ее элементов, но и точностью формы и взаимного расположения поверхностей.

Отклонения формы и расположения поверхностей снижают технологические показатели изделий.

Допуски формы и расположения поверхностей регламентируются следующими стандартами:

- ✓ ГОСТ 24642-81 «Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения»;

- ✓ ГОСТ 24643-81 «Числовые значения отклонений формы и взаимного положения»;
- ✓ ГОСТ 30893.2-2002 «ОНВ. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально»;
- ✓ ГОСТ 2.308-79 «ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей».

В 2009 году взамен ГОСТ 24642-81 был введен модифицированный по отношении к международному стандарту ИСО 1101:2004 ГОСТ Р 53442-2009 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения».

3.1. Математическое описание поверхности детали

В результате обработки деталей и сборки изделий форма поверхностей деталей и их взаимное расположение отличаются от номинальных, т. е. заданных чертежом. Таким образом, следует различать номинальный и реальный профиль поверхности, номинальное и реальное расположение поверхности. Номинальное расположение поверхности определяется номинальными линейными и угловыми размерами между ними. Реальное расположение поверхности определяется действительными линейными и угловыми размерами. *Профиль поверхности* – линия пересечения (или контур) поверхности с плоскостью или заданной поверхностью. Вследствие отклонений действительной формы от номинальной один размер в различных сечениях детали может быть различным (рис. 3.1).

Размеры в поперечном сечении можно определить переменным радиусом R, отсчитываемым от геометрического центра O номинального сечения. Этот радиус называют *текущим размером,* т.е. размером, зависящим от положения осевой координаты x (сечения Б – Б) и угловой координаты φ точки, лежащей на измеряемой поверхности (φ – угловая координата радиуса R). Отклонение ΔR текущего размера R (при выбранном значении x) от номиналь-

ного (постоянного) размера R_0 можно выразить зависимостью $\Delta R = R - R_0 = f(\varphi)$, где $f(\varphi)$ – функция, характеризующая погрешность профиля (φ – полярный угол). Контур поперечного сечения удовлетворяет условию замкнутости, следовательно, $f(\varphi + 2\pi) = f(\varphi)$, т. е. функция имеет период 2π.

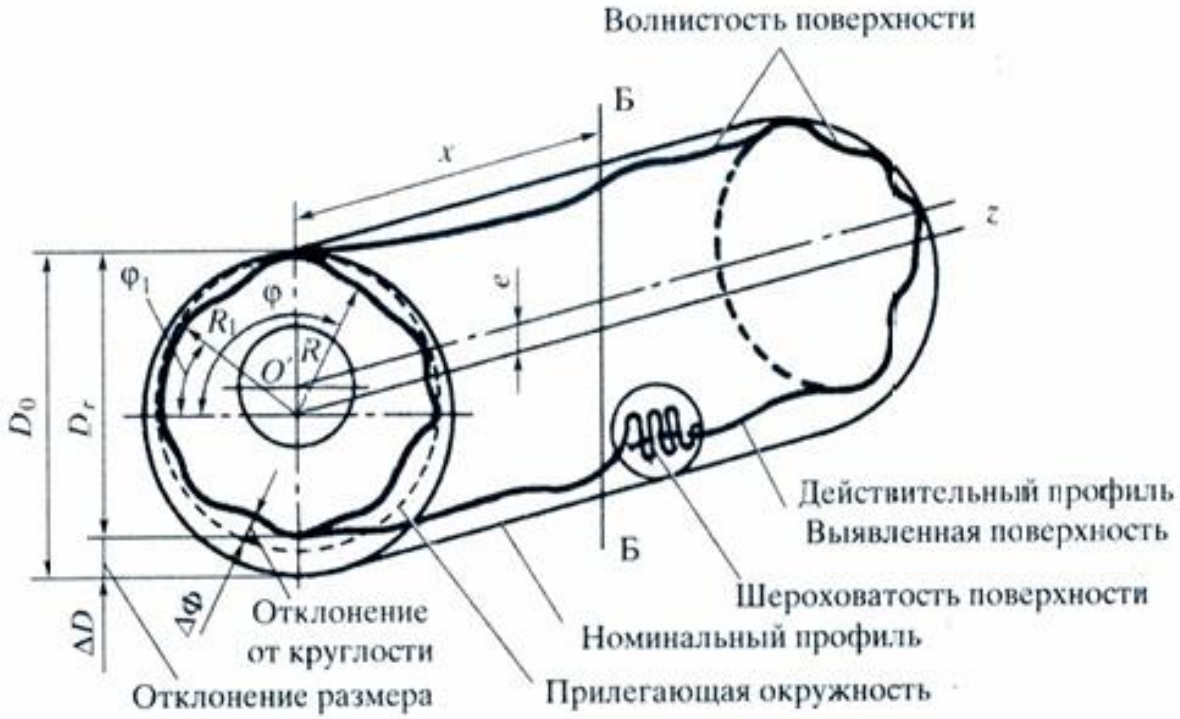


Рис. 3.1. Геометрическая поверхность цилиндрической детали

Контур сечения действительной поверхности можно характеризовать совокупностью гармонических составляющих отклонений профиля, определяемых спектрами фазовых углов и амплитуд, т. е. совокупностью отклонений с различными частотами. Для аналитического изображения действительного профиля (контура сечения) поверхности используют разложение функции погрешностей $f(\varphi)$ в ряд Фурье.

Рассматривая отклонения ΔR радиуса-вектора в полярной системе координат как функцию полярного угла φ, представляем отклонения контура поперечного сечения детали в виде ряда Фурье:

$$f(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos k\varphi + b_k \sin k\varphi\right),$$

где $a_0/2$ – нулевой член разложения; a_k, b_k – коэффициенты ряда Фурье k-й гармоники; k – порядковый номер составляющей гармоники. Ряд Фурье можно представить также в виде

$$f(\varphi) = \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \left(\cos k\varphi + \varphi_k\right),$$

где c_k – амплитуда k-й гармоники; φ_k – начальная фаза.

Функция $f(\varphi)$ определяется совокупностью величин c_k – спектр амплитуд и φ_k – спектр фаз. Число членов ряда n ограничиваем, обычно n не более 5, так как с ростом номера k амплитуда быстро уменьшается.

Нулевой член разложения в общем случае является средним значением функции $f(\varphi)$ за период $T = 2\pi$, определяемым расстоянием от базового уровня отсчета текущего размера до средней линии геометрических отклонений профиля. Таким образом, $c_0/2$ есть постоянная составляющая отклонения текущего размера. Первый член разложения $c_1 = \cos(\varphi + \varphi_1)$ выражает несовпадение центра вращения O' с геометрическим центром сечения O (эксцентриситет e), т. е. отклонение расположения поверхности. Члены ряда, начиная со второго, образуют спектр отклонений формы детали в поперечном сечении. При этом второй член ряда Фурье $c_2 = \cos(2\varphi + \varphi_2)$ выражает овальность, третий член $c_3 = \cos(3\varphi + \varphi_3)$ – трехвершинную огранку и т. д. Члены ряда высокой частоты выражают волнистость и шероховатость поверхности (см. ниже).

В случае пространственного представления отклонения контура цилиндрической поверхности в продольном сечении можно описать аналогичным образом. При этом вводим цилиндрическую систему координат R, φ, z, а за период принимаем $T = 2l$, где z – переменная, отсчитываемая вдоль оси цилиндра, причем $0 \leqslant z \leqslant l$, l – длина детали. Представим отклонения контура реальной цилиндрической детали в продольном сечении $f(z)$ в виде тригонометрического полинома

$$f(z) = \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{p} c_k \sin \frac{k\pi}{2l} z ,$$

где k – порядковый номер члена разложения.

Первый член (k = 1) разложения характеризует наклон образующей цилиндра (конусообразность). Второй член разложения характеризует выпуклость контура в продольном сечении (бочкообразность). Этот же член разложения при наличии сдвига фазы выражает седлообразность и т. д.

Качество изделий в общем случае зависит от точности линейных и угловых размеров, формы и месторасположения поверхностей деталей и составных частей, а также волнистости и шероховатости поверхностей деталей. Отклонения элементов изделий должны быть ограничены размерными и геометрическими допусками.

3.2. Отклонения и допуски формы

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

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

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

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

Прилегающая поверхность – поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

Отклонением формы EP называется отклонение формы реального элемента от прилегающей поверхности, оцениваемое наибольшим расстоянием от точек реального элемента по нормали к прилегающему элементу.

Допуском формы TP называется наибольшее допускаемое значение отклонений формы.

Выбор допусков зависит от конструктивных и технологических требований и, кроме того, связан с допуском размера. Допуски формы назначают только в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера. Основные виды допусков формы и условные знаки приведены в табл. 3.1.

Некоторые дополнительные условные знаки приведены в табл. 3.2.

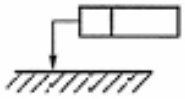
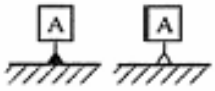
Таблица 3.1

Основные виды допусков формы

№ п/п	Вид допуска и его обозначение по ГОСТ 24642-81	Изображение на чертеже
1	Допуск цилиндричности *TFZ*	
2	Допуск круглости *TFK*	
3	Допуск профиля продольного сечения цилиндрической поверхности *TFP*	
4	Допуск плоскостности *TFE*	
5	Допуск прямолинейности *TFL*	

Таблица 3.2

Дополнительные условные знаки

Описание обозначения	Обозначение
Указание элемента, для которого установлен допуск	
Указание базового элемента	
Указание базового участка	
Теоретически точный размер	50
Выступающее поле допуска	Ⓟ
Требование максимума материала	Ⓜ
Требование минимума материала	Ⓛ
Условие свободного состояния (нежесткие детали)	Ⓕ

3.3. Отклонения и допуски расположения поверхностей

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

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

Допуском расположения называется предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения поверхностей (табл. 3.3).

Поле допуска расположения TP – область в пространстве или заданной плоскости, внутри которой должен находиться прилегающий элемент или ось, центр, плоскость симметрии в пределах нормируемого участка, ширина или диаметр которой определяется значением допуска, а расположение относительно баз – номинальным расположением рассматриваемого элемента.

Таблица 3.3

Допуски взаимного положения при различных сочетаниях поверхностей

Вид сочетания поверхностей	Вид допуска расположения (ГОСТ 24642-81)	Изображение	Примечание
Плоскость–плоскость	Параллельности *TPA*	//	
	Перпендикулярности *TPR*	⊥	
	Наклона *TPN*	∠	
	Симметричности *TPS*	⌯	*T*, *T*/2
Плоскость–цилиндр	Параллельности *TPA*	//	
	Перпендикулярности *TPR*	⊥	
	Наклона *TPN*	∠	
	Симметричности *TPS*	⌯	*T*, *T*/2
	Позиционный *TPP*	⌖	∅, *R*
Цилиндр–цилиндр	Параллельности осей *TPAx*	//	
	Перекоса осей *TPAy*	//	
	Перпендикулярности осей *TPR*	⊥	
	Наклона *TPN*	∠	
	Соосности *TPC*	◎	∅, *R*
	Позиционный *TPP*	⌖	∅, *R*
	Пересечения осей *TPX*	×	*T*, *T*/2

Оценка величины отклонения расположения производится по расположению прилегающей поверхности, проведенной к реальной поверхности; т.е. отклонения формы исключаются из рассмотрения.

3.4. Суммарные допуски и отклонения формы и расположения поверхностей

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

Поле суммарного допуска формы и расположения TC – это область в пространстве или на заданной поверхности, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности или реального профиля в пределах нормируемого участка. Это поле имеет заданное номинальное положение относительно баз (табл. 8).

Таблица 3.4

Виды суммарных допусков

Вид допуска и его обозначение по ГОСТ 24642-81	Изображение на чертеже
Торцевого биения *TCA*	
Полного торцевого биения *TCTA*	
Радиального биения *TCR*	
Полного радиального биения *TCTR*	
Биения в заданном направлении *TCD*	
Формы заданного профиля *TCL*	
Формы заданной поверхности *TCE*	

Зависимый допуск – это допуск расположения, указываемый на чертеже в виде значения, которое допускается превышать на величину, зависящую от отклонения действительного размера рассматриваемого элемента от максимума материала. Зависимый допуск обозначается буквой «М», обведенной в кружок.

Независимый допуск – это допуск расположения, числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей и не зависит от действительных размеров рассматриваемых поверхностей.

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

Зависимые допуски более экономичны и выгодней для производства, чем независимые. Они позволяют применять менее точ-

ные, но более экономичные способы обработки и контроля. Зависимые допуски обеспечивают собираемость изделий по принципу полной взаимозаменяемости.

Независимые допуски рекомендуется применять в тех случаях, когда при соединении деталей сопрягаемые поверхности центрируются посадками с натягом или переходными или когда кроме собираемости необходимо обеспечить правильное функционирование соединения: отсутствие биения, балансировку, плотность или герметичность.

3.5. Стандартизация числовых значений допусков формы и расположения поверхностей и их указание на чертежах

Допуски формы и взаимного расположения поверхностей назначаются на основе стандартных рядов – степеней точности. ГОСТ 24643-81 установлено 16 степеней точности, обозначаемых цифрами арабского алфавита в порядке убывания точности. При переходе от одной степени точности к другой допуск изменяется в 1,6 раза.

Указание допусков формы и расположения поверхностей на чертежах приведено на рис. 3.2:

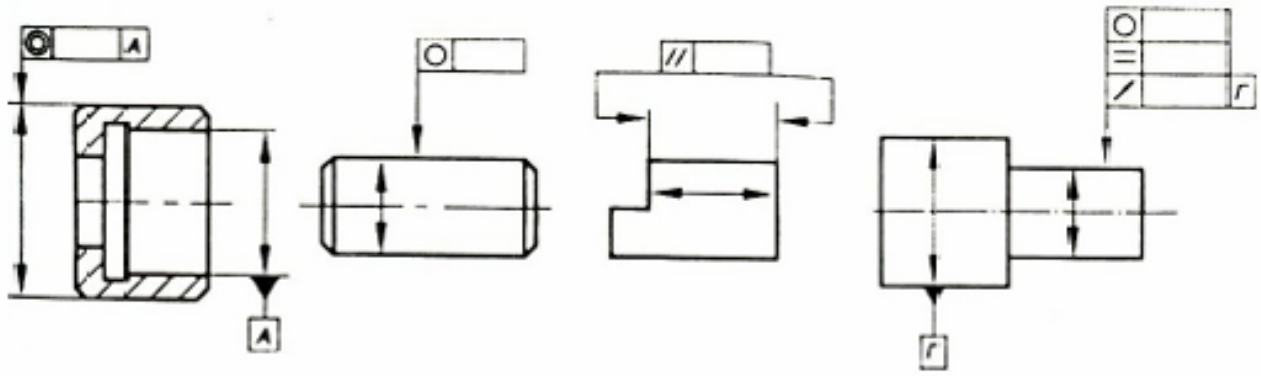


Рис. 3.2. Обозначение допусков формы и расположение поверхностей

1. При условном обозначении данные о допусках формы и расположения поверхностей помещают в прямоугольной рамке, разделенной на части, в которых указывают:

✓ в первой – знак допуска;

✓ во второй – числовое значение допуска, а при необходимости и длина нормируемого участка;

✓ в третьей – буквенное обозначение баз.

2. Рамку рекомендуется выполнять в горизонтальном положении.

3. Если допуск относится к оси или плоскости симметрии, то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии. Если же отклонение или база относятся к поверхности, то соединительная линия не должна совпадать с размерной.