



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

**Практикум по дисциплине
«ОСНОВЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ»
для студентов направления 15.03.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»**

Ростов-на-Дону

2023 г.

УДК 621.01

Составители:

доц., к.т.н. Прокопец Г.А.

доц., к.т.н. Шведова А.С.

асс. Прокопец А.А.

Практикум по дисциплине «Основы взаимозаменяемости» для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2023. – с.

Приводится цель работ по дисциплине «Основы взаимозаменяемости» и методика их выполнения, даются методические указания, необходимые для выполнения практических работ, приводятся справочные материалы. Практикум предназначен для студентов бакалаврской подготовки по направлению 15.03.05 "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств".

УДК 621.01

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор д.т.н. проф. М.А.Тамаркин

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Технология
машиностроения»
д.т.н. проф. М.А.Тамаркин

В печать _____. 2023 г.
Формат 60x84/14. Объем _____ усл. п.л.
Тираж _____ экз. Заказ № _____.

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2023

Оглавление

Практическая работа №1. Расчет допусков линейных размеров по единице допуска

Практическая работа №2. Расчет параметров посадки в гладком соединении

Практическая работа №3. Нормирование точности типовых соединений сложного профиля: шпоночные соединения

Практическая работа №4. Нормирование точности шлицевых соединений

Практическая работа №5. Нормирование точности резьбовых соединений

Практическая работа №6. Нормирование и нанесение отклонений формы и расположения поверхностей на чертеж детали

Практическая работа №7. Расчет посадки подшипника в корпус и посадки вала в подшипник с расчетом их параметров

Практическая работа №8. Расчет основных параметров зубчатого соединения

Практическая работа №9. Построение модели микропрофиля обработанной поверхности по профилограмме

Практическая работа № 10. Оценка стабильности показателя качества машины

Практическая работа № 1

Расчет допусков линейных размеров по единице допуска

Цель работы. Ознакомиться с основными понятиями и принципами построения системы допусков.

Теоретические предпосылки.

Вал — это термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы (См. рис 1.1). Вал обозначается прописной буквой латинского алфавита – d . Отверстие – это термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы. Отверстие обозначается заглавной буквой латинского алфавита – D . Размер — это числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.п.) в выбранных единицах измерения.

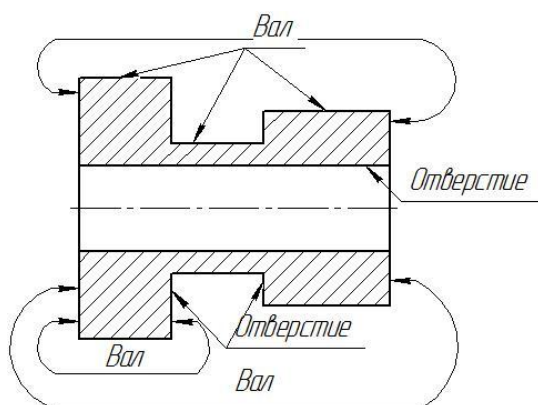


Рис. 1.1.

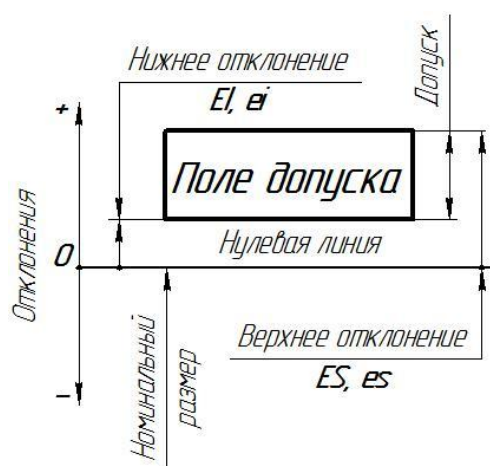


Рис. 1.2.

База — это элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение.

В соответствии с ГОСТ ГОСТ 25346-89 приняты следующие понятия и определения:

Отклонение — это алгебраическая разность между размером (действительным или предельным размером) и соответствующим номинальным размером (см. рис. 1.2).

Предельное отклонение — это алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения. Верхнее отклонение — это алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами. ES - верхнее отклонение отверстия, es - верхнее отклонение вала. Нижнее отклонение — это алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами. EI - нижнее отклонение отверстия, ei - нижнее отклонение вала.

Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно нулевой линии соответствующей номинальному размеру. Допуск (IT) — это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск является скалярной величиной без знака. Единица допуска (i , I) — это множитель в формулах допусков, являющийся функцией номинального размера и служащий для определения числового значения допуска.

Стандартом установлены квалитеты: 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, ..., 11, 12...18. Самые точные квалитеты 01, 0, 1, 2, 3, 4, как правило, применяются при изготовлении образцовых мер и калибров. Квалитеты с 5-го по 11-й, как правило, применяются для сопрягаемых элементов деталей. Квалитеты с 12-го по 18-й применяются для несопрягаемых элементов деталей. Чтобы максимально сократить число значений допусков при построении рядов допусков, стандартом установлены интервалы размеров, внутри которых значение допуска для данного квалитета не меняется (см. табл. 1.2). Допуск IT рассчитывается по формуле:

$$IT = k \times i \quad (1)$$

где k – число единиц допуска, установленное для каждого качества; i – единица допуска, зависящая только от размера (табл. 1.1).

Таблица 1.1 Определение числа единиц допуска (Таблица дана в сокращении)¹

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Число единиц допуска k	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500
Допуск для размеров до 500 мм	$IT = k * i$ где $i = 0,45 * D^{1/3} + 0,001 * D$, мкм													
Допуск для размеров свыше 500 до 3150 мм	$IT = k * i$ где $i = 0,004 * D + 2,1$, мкм													
Примечания: D – среднее геометрическое из крайних значений каждого интервала номинальных размеров, мм														

Средним геометрическим нескольких положительных вещественных чисел называется такое число, которым можно заменить каждое из этих чисел так, чтобы их произведение не изменилось. Более формально:

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n} = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n} \quad (2)$$

Таблица 1.2. Значения допусков, мкм (дана в сокращении)

Интервал номинальных размеров, мм	Квалитет										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
До 3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400
Св. 3 до 6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480
Св. 6 до 10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580
Св. 10 до 18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700
Св. 18 до 30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840
Св. 30 до 50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000

¹ В.И.Анухин. Допуски и посадки. 5-е издание. - СПб: Питер, 2012.

Интервал номинальных размеров, мм	Квалитет										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Св. 50 до 80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200
Св. 80 до 120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400
Св. 120 до 180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
Св. 180 до 250	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850

Последовательность выполнения работы.

1. Изучить теоретические предпосылки, приведенные в данном методическом указании.
2. Получить задание у преподавателя.
3. Рассчитать величины допусков для предложенных допусков и квалитетов.
4. Сравните полученные величины с табличными (табл. 1.2).
5. Сделать выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы.

1. Что такое система допусков и посадок? С какой целью была разработана система допусков и посадок?
2. Что такое допуск? Что такое единица допуска? Сколько единиц допуска содержит допуск на размер по 11 квалитету?
3. Что такое квалитет?
4. По какой формуле (по единице допуска) рассчитывается допуск для размеров до 500 мм?

Практическая работа № 2.

Расчет параметров посадки в гладком соединении

Цель работы. Ознакомиться с методикой определения основных параметров размерных связей в посадках различного характера.

Теоретические предпосылки.

Положение допуска относительно нулевой линии определяется основным отклонением – одним из двух предельных отклонений, ближайшим к нулевой линии, и обозначается одной из букв (или их сочетаний) латинского алфавита. Таким образом, поле допуска обозначается сочетанием буквы, указывающей на положение допуска относительно нулевой линии, с цифрой, указывающей на степень точности – величину допуска (кавалитет точности). Номинальный размер отверстия и вала, составляющих соединение является *общим* и называется номинальным размером посадки. Система образования посадок и видов сопряжений предусматривает посадки в системе отверстия (СА) и в системе вала (СВ). Посадки в системе отверстия — это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием. Для всех посадок в системе отверстия нижнее отклонение отверстия $EI = 0$, т. е. нижняя граница поля допуска основного отверстия, всегда совпадает с нулевой линией. Посадки в системе вала — это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом. Для всех посадок в системе вала верхнее отклонение основного вала $es = 0$, т. е. верхняя граница поля допуска вала всегда совпадает с нулевой линией. Поле допуска основного отверстия откладывают вверх, поле допуска основного вала - вниз от нулевой линии, т. е. в материал детали. Пример графического изображения полей допусков посадки приведен на рис. 2.1.

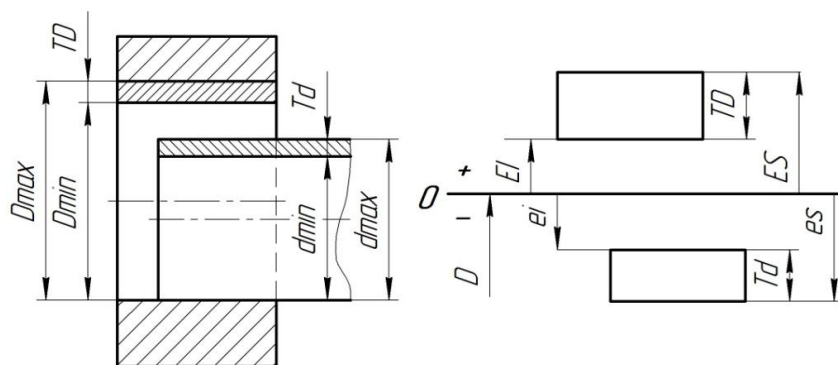
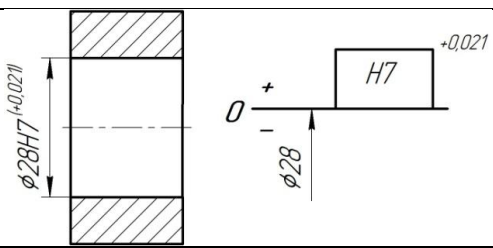
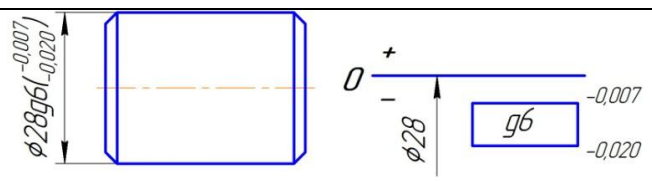
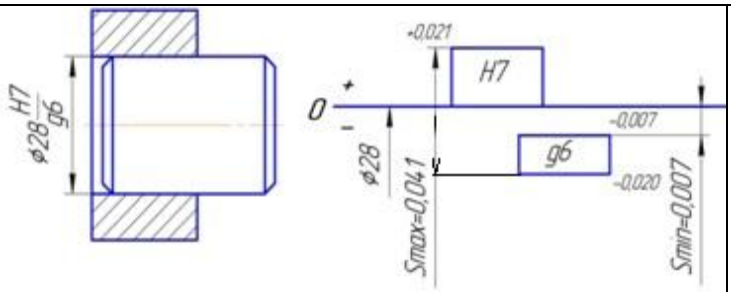
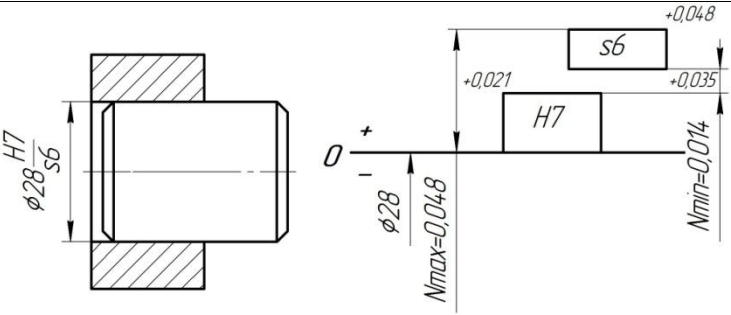


Рис. 2.1. Пример графического изображения схемы расположения полей допусков посадки с гарантированным зазором

Предпочтительные поля допусков и посадок представляют собой совокупность отобранных из числа наиболее часто применяемых в производстве изделий полей допусков и составляемых из их числа посадок или видов сопряжений. Эти поля допусков и посадок составляют ряды предпочтительных и рекомендуемых и должны в первую очередь использоваться при проектировании изделий.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала различают посадки трех типов: с зазором, с натягом и переходные. В посадках с зазором наименьший предельный размер отверстия больше наибольшего предельного размера вала или равен ему. В посадках с натягом наименьший предельный размер соединяемого вала будет больше наибольшего предельного размера отверстия. В переходной посадке с разной степенью вероятности возможно формирование как зазора, так и натяга. В табл. 2.1 приведены примеры различных посадок, указаны формулы для расчета зазоров и натягов в соединениях и допусков посадок TS, TN, TN(S)). При расчете и выборе посадок конструктора могут интересовать не только предельные зазоры и натяги, но и средние, обычно наиболее вероятные, зазоры и натяги: средний зазор: $S_c = (S_{\max} + S_{\min})/2$, средний натяг: $N_c = (N_{\max} + N_{\min})/2$.

Таблица 2.1 Примеры посадок

Отверстие	
	<p>Верхнее отклонение: $ES = +0,021$ мм</p> <p>Нижнее отклонение: $EI = 0$</p> <p>Допуск: $T = ES - EI = +0,021 - 0 = 0,021$ мм</p>
Вал	
	<p>Верхнее отклонение: $es = -0,007$ мм</p> <p>Нижнее отклонение: $ei = -0,020$ мм</p> <p>Допуск: $Td = es - ei = -0,007 - (-0,020) = 0,013$ мм</p>
Посадка с зазором	
	<p>Параметры отверстия:</p> <p>$ES = +0,021$ мм,</p> <p>$EI = 0$, $TD = 0,021$ мм</p> <p>Параметры вала:</p> <p>$es = -0,007$ мм,</p> <p>$ei = -0,020$ мм, $Td = 0,013$ мм</p> <p>Наибольший и наименьший зазоры:</p> <p>$S_{max} = ES - ei = +0,021 - (-0,020) = 0,041$ мм</p> <p>$S_{min} = EI - es = 0 - (-0,007) = 0,007$ мм</p> <p>Средний зазор:</p> <p>$S_c = (S_{max} + S_{min}) / 2 = (0,041 + 0,007) / 2 = 0,024$ мм</p> <p>Допуск посадки:</p> <p>$TS = S_{max} - S_{min} = (ES - ei) - (EI - es) = TD + Td = 0,034$ мм</p>
Посадка с натягом	
	<p>Параметры отверстия:</p> <p>$ES = +0,021$ мм,</p> <p>$EI = 0$, $TD = 0,021$ мм</p> <p>Параметры вала:</p> <p>$es = +0,048$ мм,</p> <p>$ei = +0,035$ мм, $Td = 13$ мм</p> <p>Наибольший и наименьший натяги:</p>

Особенности переходных посадок. Посадки предназначены для неподвижных, но разъемных соединений, так как обеспечивают достаточно легкую сборку и разборку соединения. В сопряжении могут получаться как зазоры, так и натяги, поэтому они требуют, как правило, дополнительного крепления соединяемых деталей шпонками, штифтами, болтами и т.п. Используются как центрирующие посадки. Применяются только в точных качествах – с 4-го по 8-й. На рис. 2.2б приведена в сокращении схема расположения полей допусков переходных посадок в системе отверстия для размеров до 500 мм. Расчеты переходных посадок выполняются редко и в основном как проверочные и могут включать:

- расчет вероятности получения зазоров и натягов в соединении;
- расчет наибольшего зазора по известному предельно допустимому эксцентриситету соединяемых деталей;
- расчет прочности сопрягаемых деталей от действия сил, возникающих при сборке (только для тонкостенных втулок).

Особенности посадок с натягом. Посадки предназначены для неподвижных и неразъемных соединений. Относительная неподвижность деталей обеспечивается силами трения, возникающими на контактирующих поверхностях вследствие их упругой деформации, создаваемой натягом при сборке соединения. Посадки используются для передачи крутящих моментов и осевых сил без дополнительного крепления, а иногда для создания предварительно напряженного состояния у сопрягаемых деталей. Применяются только в точных качествах. На рис. 2.2,в приведена в сокращении схема расположения полей допусков посадок с натягом в системе отверстия для размеров до 500 мм.

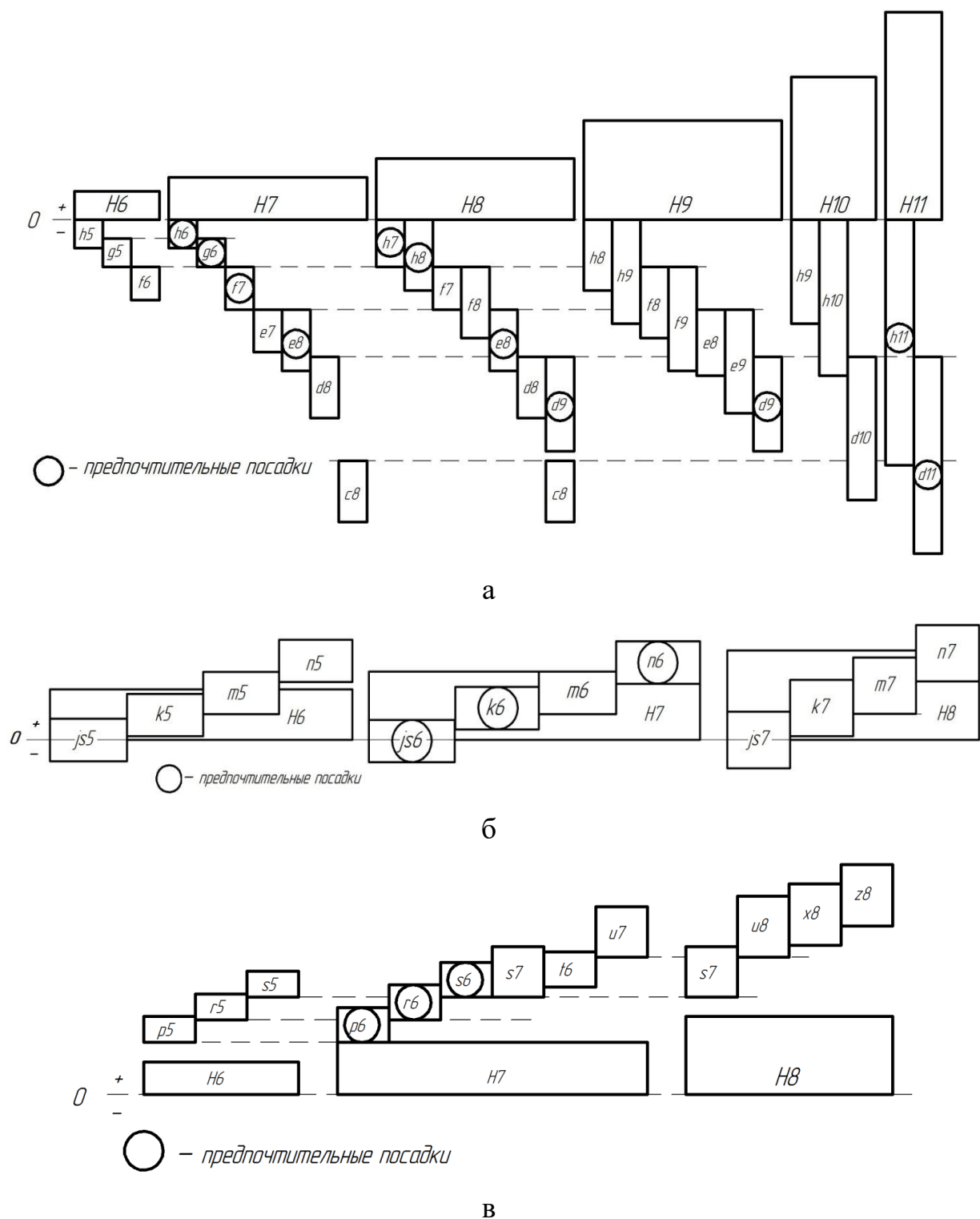


Рис. 2.2. Схема расположения полей допусков посадок в системе отверстия для размеров до 500 мм

Правила образования посадок. Можно применять любое сочетание полей допусков, установленных стандартом. Посадки за редким исключением должны назначаться либо в системе отверстия, либо в системе вала. Применение системы отверстия предпочтительней. Следует отдавать предпочтение рекомендуемым

посадкам, при этом в первую очередь – предпочтительным. Посадки с 4-го по 7-й квалитеты рекомендуется образовывать путем сопряжения отверстия на квалитет грубее, чем вал, так как отверстия при прочих равных условиях изготавливаются с большими погрешностями, чем валы, поэтому и допуск посадки делится не поровну, большая часть отдается отверстию, меньшая – валу.

Нанесение предельных отклонений размеров. Способы нанесения предельных отклонений линейных размеров приведены на рис. 2.3. При указании предельных отклонений следует руководствоваться следующими правилами:

- Предельные отклонения размеров следует указывать непосредственно после номинальных размеров.

- Предельные отклонения линейных размеров относительно низкой точности допускается не указывать непосредственно после номинальных размеров, а оговаривать общей записью в технических требованиях чертежа. Например, H14, h14, $\pm IT14/2$, что означает неуказанные предельные отклонения отверстий должны быть выполнены по H14, валов – по h14, прочие размеры должны иметь симметричные отклонения $\pm IT14/2$. Данная запись одновременно устанавливает предельные отклонения радиусов закруглений, фасок, углов с неуказанными допусками. Числовые значения предельных отклонений приведены в ГОСТ 30893.1-2002.

- При указании предельных отклонений предпочтение следует отдавать условному обозначению полей допусков для сопряжений и численным значениям верхнего и нижнего отклонения для отдельных поверхностей (например, на чертежах деталей).

- При указании предельных отклонений обязательно указывать их числовые значения в следующих случаях: при назначении предельных отклонений размеров, не включенных в ряды нормальных линейных размеров; при назначении предельных отклонений, условные обозначения которых не предусмотрены в ГОСТ 25347 – 82; при назначении предельных отклонений размеров уступов с несимметричным полем допуска

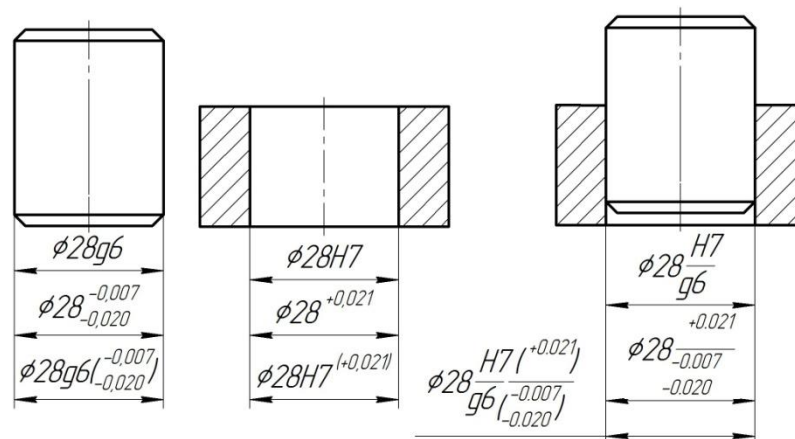


Рис. 2.3. Способы нанесения размеров посадок на чертежах деталей

Последовательность выполнения работы.

1. Выпишите из чертежа, выданного преподавателем, посадки.
2. Определите вид посадки (с зазором, с натягом, переходная).
3. Рассчитайте все характеристики вала, отверстия и посадки, воспользовавшись таблицей А из приложения.
4. Постройте схемы расположения полей допусков в заданных посадках.
5. Сделайте выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое предельное отклонение? Что такое верхнее отклонение, нижнее отклонение? Как они обозначаются? Как отличить обозначения для вала и отверстия?
2. Что такое поле допуска?
3. Что такое система вала и система отверстия?
4. Дайте характеристику посадок с зазором, с натягом и переходных.
5. От чего зависит выбор качества?
6. Приведите основные правила назначения посадок.
7. Каким образом наносятся параметры точности на чертеже?
8. Что такое «предпочтительные посадки»?

Практическая работа № 3

Нормирование точности шпоночных соединений

Цель работы. Ознакомиться с принципами нормирования точности соединений сложного профиля.

Теоретические предпосылки.

Шпоночные соединения предназначены для соединения с валами зубчатых колес, шкивов, маховиков, муфт и других деталей и служат для передачи крутящих моментов. Наиболее часто применяются соединения с призматическими шпонками. Материал шпонки - сталь с временным сопротивлением разрыву не менее 590 МН/м^2 (60 кгс/мм^2). Размеры, допуски, посадки и предельные отклонения соединений с призматическими шпонками установлены ГОСТ 23360-78. Основные размеры шпонок и шпоночных пазов в соединениях с призматическими шпонками представлены на рис. 3.1 и в табл. 3.1, 3.2.

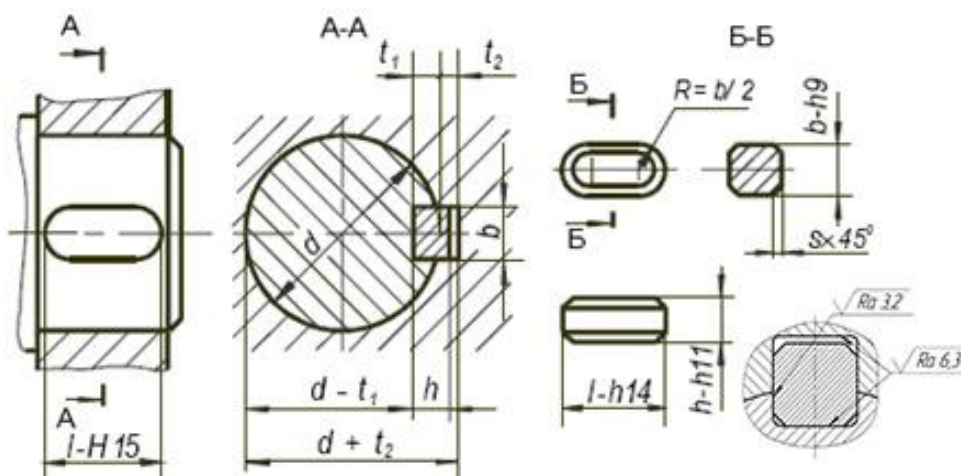


Рис. 3.1. Основные размеры шпонок и шпоночных пазов в соединениях с призматическими шпонками

Стандартом установлены поля допусков по ширине шпонки и шпоночных пазов b для свободного, нормального и плотного соединений. Для ширины пазов вала и втулки допускаются любые сочетания указанных полей допусков. Рекомендуемые посадки приведены в табл. 3.2 и на рис. 3.2. Длина шпонок должна выбираться из ряда: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45;

50;56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 220. Пример простановки посадок шпоночного сопряжения приведен на рис. 3.3.

Таблица 3.1 Размеры шпонок и шпоночных пазов (в сокращенном варианте).

Диаметр вала d, мм	Номинальный размер шпонки, мм			Номинальный размер паза, мм			
	bхh	Фаска S		Глубина h		Радиус r	
		max	min	на валу t ₁	на втулке t ₂	max	min
Св. 12 до 17	5х5	0.40	0.25	3.0	2.3	0.25	0.16
Св. 17 до 22	6х6			3.5	2.8		
Св. 22 до 30	7х7			4.0	3.3		
Св. 22 до 30	8 х 7			4.0	3.3		
Св. 30 до 38	10х8	0.60	0.40	5.0	3.3	0.40	0.25
Св. 38 до 44	12х8			5.0	3.3		
Св. 44 до 50	14х9			5.5	3.8		
Св. 50 до 58	16х10			6.0	4.3		
Св. 58 до 65	18 х 11			7.0	4.4		
Св. 65 до 75	20х12	0.80	0.60	7.5	4.9	0.60	0.40
Св. 75 до 85	22х14			9.0	5.4		
Св. 85 до 95	25 х 14			9.0	5.4		
Св. 95 до 110	28 х 16			10.0	6.4		
Св. 110 до 130	32 х 18			11.0	7.4		
Примечания: В обоснованных случаях (пустотелые валы, передача пониженных крутящих моментов и т.п.) допускается применять меньшие размеры сечений стандартных шпонок.							

Таблица 3.2 Предельные отклонения и посадки шпоночных соединений

Элемент соединения	Поле допуска размера при соединении		
	свободном	нормальном	плотном
ширина шпонки	h9	h9	h9
ширина паза на валу	H9	N9	P9
ширина паза на втулке	D10	Js9	P9

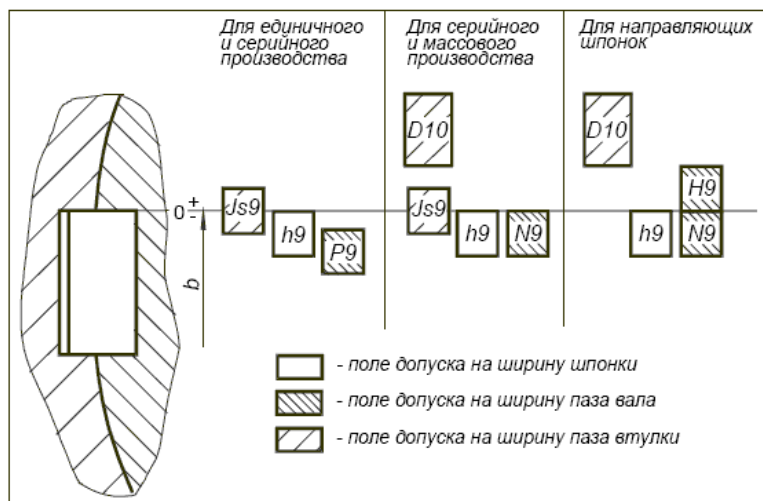


Рис. 3.2 Рекомендуемые посадки для шпоночных соединений

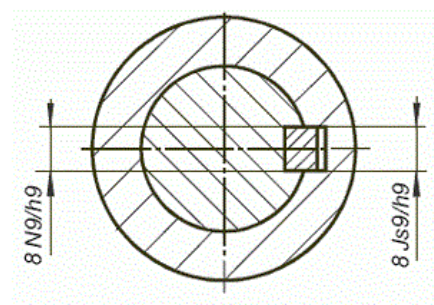


Рис. 3.3 Пример простановки посадок шпоночного сопряжения

На рабочем чертеже проставляется один размер для вала t_1 (предпочтительный вариант) и для втулки $d+t_2$ (табл. 3.3). Пример условного обозначения шпонки исполнения 1 (с радиусом закруглений $R = b/2$) с размерами $b=18$ мм, $h=11$ мм, $l=100$ мм: Шпонка 18x11x100 ГОСТ 23360-78.

Табл. 3.3 Предельные отклонения на глубину пазов

Высота шпонки h , мм	от 2 до 6	от 6 до 18	от 18 до 50
Предельные отклонения на глубину паза на валу t_1	+0.1	+0.2	+0.3
Предельные отклонения на глубину паза во втулке t_2	0	0	0

Последовательность выполнения работы.

1. Получите исходные данные для выполнения работы у преподавателя.
2. Определите размеры шпонки и шпоночных пазов и их отклонения из табл. 3.1, 3.3.
3. Выполните эскизы шпонки, шпоночного паза на валу и в отверстии с нанесением размеров (см. рис. 3.1). Сформируйте обозначение шпонки.

5. Сделайте выводы о проделанной работе.

1. Что такое шпоночное соединения?

3. Укажите поле допуска ширины шпонки.

4. Какие виды соединений используются при установке шпонки?

5. Расшифруйте обозначение шпонки, шпоночного соединения.



Практическая работа № 4

Нормирование точности шлицевых соединений

Цель работы. Ознакомиться с принципами нормирования точности шлицевых соединений.

Теоретические предпосылки.

Шлицевые соединения в основном предназначены для передачи крутящих моментов в соединениях шкивов, муфт, зубчатых колес и других деталей с валами. В отличие от шпоночных соединений, шлицевые соединения, кроме передачи крутящих моментов, осуществляют еще и центрирование сопрягаемых деталей. В зависимости от профиля зубьев шлицевые соединения делят на соединения с прямобочным, эвольвентным и треугольным профилем зубьев. *Соединения шлицевые прямобочные.* Шлицевые соединения с прямобочным профилем зубьев применяются для подвижных и неподвижных соединений. По ГОСТ 1139-80 в зависимости от передаваемого крутящего момента установлено три типа соединений – легкой, средней и тяжелой серии. К основным параметрам шлицевых прямобочных соединений относят D – наружный диаметр; d – внутренний диаметр; b – ширина зуба (рис. 4.1).

В шлицевых соединениях с прямобочным профилем зуба применяют три способа относительного центрирования вала и втулки: по наружному диаметру D ; по внутреннему диаметру d ; по боковым сторонам зубьев b . Центрирование по D применяется в подвижных и неподвижных соединениях и рекомендуется при повышенных требованиях к соосности элементов соединения, когда твердость втулки не слишком высока и допускает обработку чистовой протяжкой, а вал обрабатывается фрезерованием и шлифуется по наружному диаметру D . Центрирование по d является наименее экономичным и применяется в тех же случаях, что и центрирование по D , но при твердости втулки, не позволяющей обрабатывать ее протяжкой. Центрирование по b используют, когда не требуется высокой точности центрирования, при передаче значительных крутящих моментов. Номинальные размеры основных параметров и число зубьев шлицевых соединений общего назначения с прямобочным профилем зубьев, параллельных оси соединения, приведены в табл. 4.1.

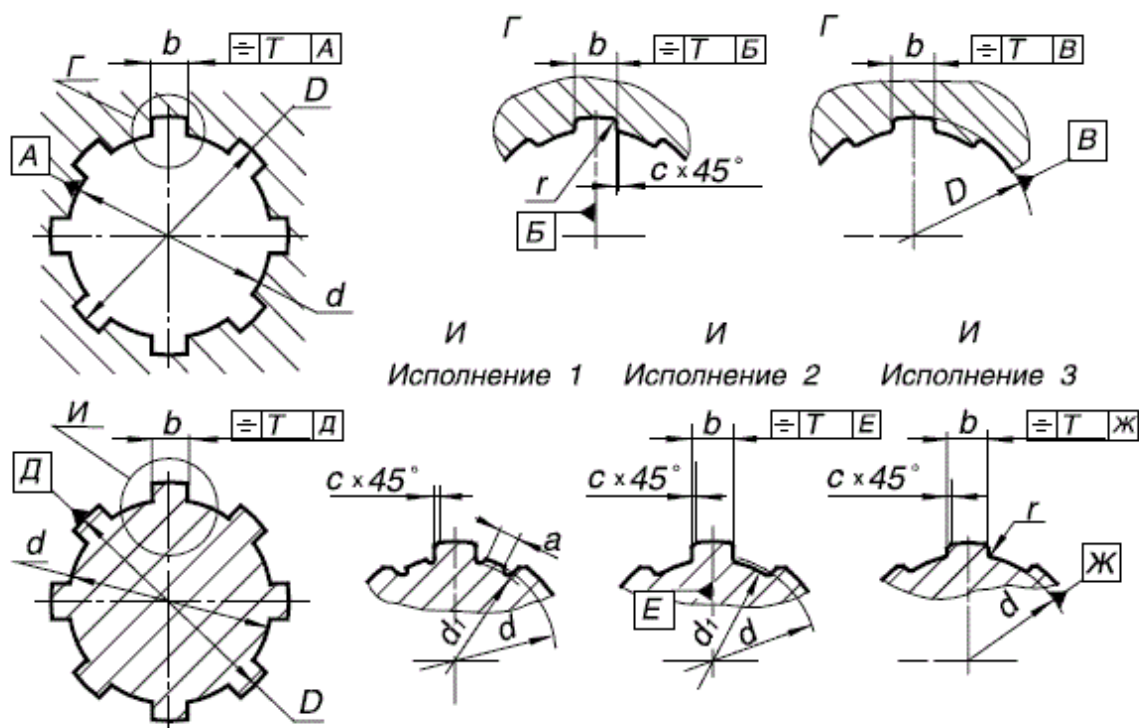


Рис. 4.1. Параметры шлицевого отверстия и шлицевого вала.

Таблица 4.1 Основные размеры шлицов на валах и в отверстиях (в сокращении)

z x d x D x b, мм, где z - число зубьев	d1, мм	a, мм	с, мм	г, мм, не более
	не менее			
легкая серия				
6 x 23 x 26 x 6	22.1	3.54	0.3	0.2
6 x 26 x 30 x 6	24.6	3.85	0.3	0.2
6 x 28 x 32 x 7	26.7	4.03	0.3	0.2
8 x 32 x 36 x 6	30.4	2.71	0.4	0.3
8 x 36 x 40 x 7	34.5	3.46	0.4	0.3
8 x 42 x 46 x 8	40.4	5.03	0.4	0.3
8 x 46 x 50 x 9	44.6	5.75	0.4	0.3
8 x 52 x 58 x 10	49.7	4.89	0.5	0.5
8 x 56 x 62 x 10	53.6	6.38	0.5	0.5
z x d x D x b, мм, где z - число зубьев	d1, мм	a, мм	с, мм	г, мм, не более
	не менее			
средняя серия				

6 x 11 x 14 x 3	9.9	-	0.3	0.2
6 x 13 x 16 x 3.5	12.0	-	0.3	0.2
6 x 16 x 20 x 4	14.5	-	0.3	0.2
6 x 18 x 22 x 5	16.7	-	0.3	0.2
6 x 21 x 25 x 5	19.5	1.95	0.3	0.2
6 x 23 x 28 x 6	21.3	1.34	0.3	0.2
6 x 26 x 32 x 6	23.4	1.65	0.4	0.3
6 x 28 x 34 x 7	25.9	1.70	0.4	0.3
8 x 32 x 38 x 6	29.4	-	0.4	0.3
8 x 36 x 42 x 7	33.5	1.02	0.4	0.3
8 x 42 x 48 x 8	39.5	2.57	0.4	0.3
8 x 46 x 54 x 9	42.7	-	0.5	0.5
8 x 52 x 60 x 10	48.7	2.44	0.5	0.5
тяжелая серия				
10 x 16 x 20 x 2.5	14.1	-	0.3	0.2
10 x 18 x 23 x 3	15.6	-	0.3	0.2
10 x 21 x 26 x 3	18.5	-	0.3	0.2
10 x 23 x 29 x 4	20.3	-	0.3	0.2
10 x 26 x 32 x 4	23.0	-	0.4	0.3
10 x 28 x 35 x 4	24.2	-	0.4	0.3
10 x 32 x 40 x 5	28.0	-	0.4	0.3
10 x 36 x 45 x 5	31.3	-	0.4	0.3
10 x 42 x 52 x 6	36.9	-	0.4	0.3
10 x 46 x 56 x 7	40.9	-	0.5	0.5
Примечания: размер «а» дан для валов при нарезании шлицев методом обкатывания; при центрировании по внутреннему диаметру валы изготавливаются в исполнении 1 и 3, при центрировании по наружному диаметру и боковым сторонам - в исполнении 2.				

Посадки шлицевых соединений с прямобочным профилем зуба. По ГОСТ 1139-80 установлены допуски и посадки шлицевых соединений с прямобочным профилем зуба для различных способов центрирования. В таблице

4.2 приведены предпочтительные посадки; но допускаются и другие посадки (см. ГОСТ 1139-80). Допуски симметричности боковых сторон шлицев в диаметральной выразении по отношению к оси симметрии центрирующего элемента приведены в таблице 4.3. Условные обозначения шлицевых прямобоочных соединений приведены на рис. 4.2.

Таблица 4.2 Предпочтительные посадки

центрирующий элемент	центрирование по d			центрирование по D			центрирование по b		
посадки	по D	по d	по b	по D	по d	по b	по D	по d	по b
подвижное соединение	-	H7/ f7 H7/ g7 H8/ e8	F8/f7 F8/f8 D9/h9	H7/f7 H7/g6 H8/e8	H12/a11	D9/h9 F8/f8 F8/f7	-	H12/a11	F8/f8 D9/e8 D9/f8
неподвижное соединение	-	H7/js6 H7 / n6	F8/f7 F8/f8 F8/js7	H7/js6 H7/js7 H7/n6	H12/a1 1	F8/js7 D9/h9 D9/k7	-	H12/a11	F8/js7 D9/js7 D9/ k7

Таблица 4.3 Допуск симметричности боковых сторон шлицев к оси симметрии центрирующего элемента

b, мм	2.5; 3	3.5; 4; 5; 6	7; 8; 9; 10	12; 14; 16; 18
допуск симметричности, мм	0.01	0.012	0.015	0.18

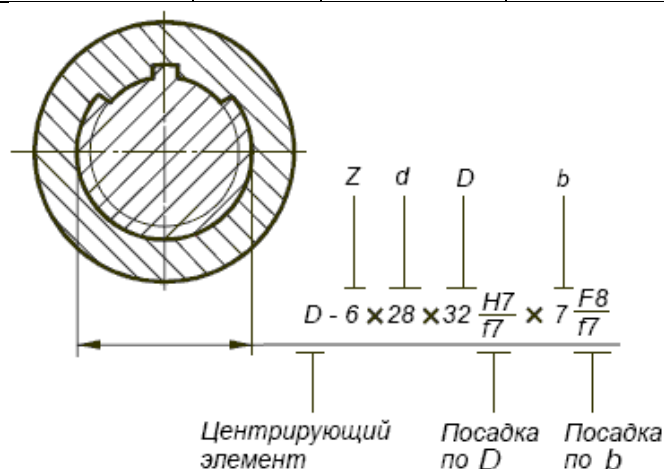


Рис.4.2. Условные обозначения шлицевых прямобоочных соединений.

Пример обозначения подвижного шлицевого соединения с центрированием по D:

- для соединения: D - 8 x 36 x 40 H7/f7 x 7 F8/f7
- для отверстия этого соединения: D – 8 x 36 x 40 H7 x 7 F8
- для вала: D – 8 x 36 x 40 f7 x 7 f7

Примеры обозначения подвижного шлицевого соединения с центрированием по d:

- для соединения: d - 8 x 36 H7/f7 x 40 H12/a11 x 7 D9/h9
- для отверстия этого соединения: d – 8 x 36 H7 x 40 H12 x 7 D9
- для вала: d – 8 x 36 f7 x 40 a11 x 7 h9

Примеры обозначения подвижного шлицевого соединения с центрированием по b:

- для соединения: b - 8 x 36 x 40 H12/a11 x 7 D9/f8
- для отверстия этого соединения: b – 8 x 36 x 40 H12 x 7 D9
- для вала: b – 8 x 36 x 40 a11 x 7 f8

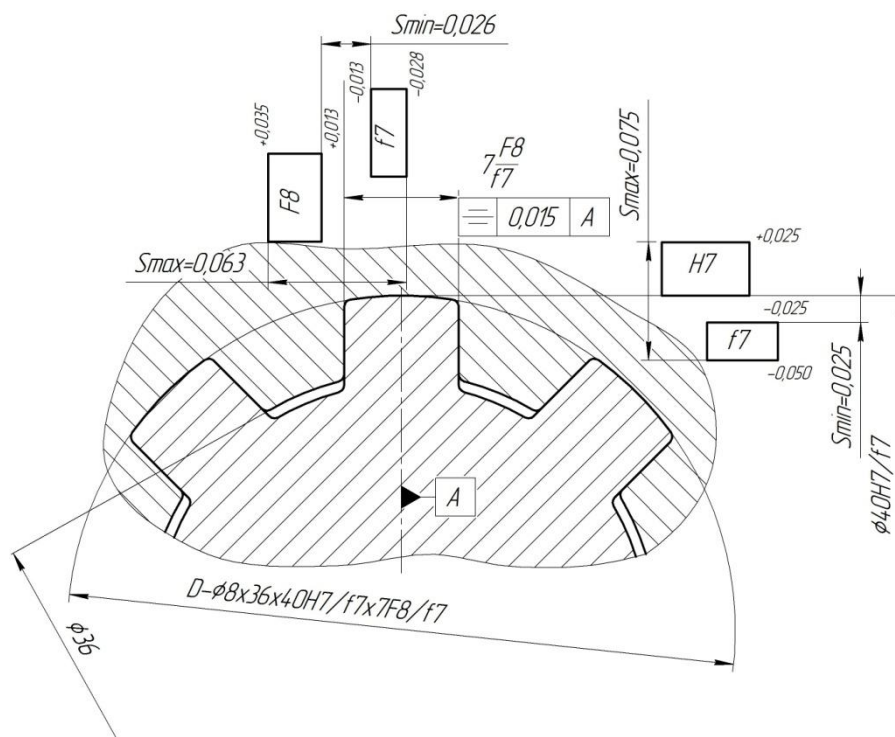


Рис. 4.3. Схема расположения полей допусков в шлицевом соединении

Последовательность выполнения работы.

1. Изучить теоретические предпосылки, приведенные в данном методическом указании.

2. Получите задание у преподавателя.

3. Определите основные параметры шлицевого соединения из табл. 4.1, 4.2.

4. Рассчитайте и постройте схемы расположения полей допусков в шлицевом соединении (рис. 4.3). Нанесите на эскиз допуск симметричности боковых сторон шлицев.

5. Сформируйте обозначение шлицевого соединения.

Контрольные вопросы

1. Что такое шлицевое соединение?

2. Какие виды шлицевых соединений используются в машиностроении?

3. Перечислите и кратко охарактеризуйте способы относительного центрирования вала и втулки в шлицевом соединении.

4. Назовите типы шлицевых соединений по ГОСТ 1139-80.

5. Перечислите основные параметры шлицевых прямобоковых соединений.

6. В каких случаях применяется центрирование по D ? по d ? по b ?

Практическая работа № 5

Нормирование точности резьбовых соединений

Цель работы. Ознакомиться с принципами нормирования параметров точности резьбовых соединений.

Теоретические предпосылки.

Метрическая цилиндрическая резьба применяется в основном в качестве крепежной и разделяется на резьбу с крупным шагом диаметром 1...64 мм и резьбу с мелким шагом диаметром 1...600 мм. При равных наружных диаметрах метрические резьбы с мелким шагом отличаются от резьб с крупным шагом меньшей высотой профиля и меньшим углом подъема резьбы. Поэтому резьбы с мелким шагом рекомендуется применять при малой длине свинчивания, на тонкостенных деталях, а также при переменной нагрузке, толчках и вибрациях. Резьбы с крупным шагом рекомендуется применять для соединения деталей, не подвергающихся таким нагрузкам, так как они менее надежны при переменной нагрузке и вибрациях и более склонны к самоотвинчиванию. К основным параметрам цилиндрических метрических резьб относятся (рис. 5.1):

- d_2 (D_2) – средний диаметр резьбы соответственно болта и гайки;
- d (D) – наружный диаметр резьбы соответственно болта и гайки;
- d_1 (D_1) – внутренний диаметр резьбы соответственно болта и гайки;
- P – шаг резьбы;
- α – угол профиля резьбы, для метрических резьб $\alpha = 60^\circ$.

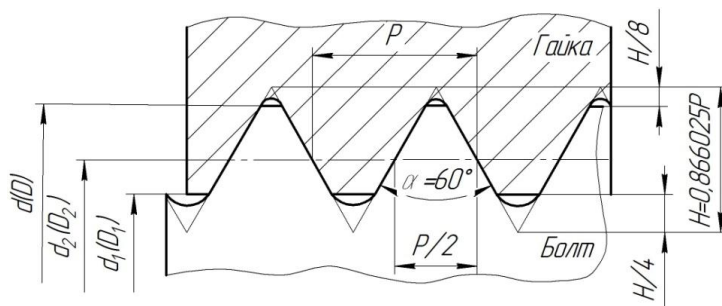


Рис. 5.1 Основные параметры цилиндрических метрических резьб

Таблица 5.1. Значения основных параметров метрических резьб по ГОСТ 9150-81 (в сокращении)

шаг резьбы Р, мм	наружный диаметр d для резьб		средний диаметр d2, D2, мм	внутренний диаметр d1, D1, мм
	с крупным шагом, мм	с мелким шагом, мм		
1	6	8 10	5,350 7,350 9,350	4,917 6,917 8,917
1,25	8	10	7,188 9,188	6,647 8,647
1,5	10	12 14 16	9,026 11,026 13,026 15,026	8,386 10,386 12,386 14,386
1,75	12		10,863	10,106
2	14 16	18 20 22 24	12,701 14,701 16,701 18,701 20,701 22,701	11,835 13,835 15,835 17,835 19,835 21,835
2,5	18 20 22		16,376 18,376 20,376	15,294 17,294 19,274
3	24 27	30 36 42 48 56 64 72 80	22,051 25,051 28,051 34,051 40,051 46,051 54,051 62,051 70,051 78,051	20,752 23,752 26,752 32,752 38,752 42,752 52,752 60,752 68,752 76,752
3,5	30 33		27,727 30,727	26,211 29,211
4	36	64 72 80 90	33,402 61,402 69,402 77,402 87,402	31,670 59,670 67,670 75,670 85,670
4,5	42		39,077	37,129
5	48		44,752	42,587

Резьбы при свинчивании контактируют только боковыми сторонами профиля, поэтому только средний диаметр, шаг и угол профиля резьбы определяют характер сопряжения в резьбе. Для компенсации накопленной погрешности шага и погрешности угла профиля производят смещение действительного среднего диаметра резьбы. Вследствие взаимосвязи между отклонениями шага, угла профиля и собственно среднего диаметра, допускаемые отклонения этих параметров раздельно не нормируют. Устанавливают только суммарный допуск на средний диаметр болта и гайки, который включает допускаемые отклонения собственно среднего диаметра и диаметральные компенсации погрешности шага и угла профиля. Кроме того, задается допуск на наружный диаметр болта и внутренний диаметр у гайки, т.е. на диаметры,

которые формируются перед нарезанием резьбы и при измерении готовых изделий наиболее доступны. Поля допусков основного отбора метрической резьбы для посадок с зазором нормируются по ГОСТ 16093-81. Цифры обозначают степень точности, а буквы - основное отклонение. *Длина свинчивания* в силу конструктивных особенностей резьбовых соединений оказывает влияние на качество и характер сопряжения. Установлено три группы длин свинчивания: S – короткие: с длиной свинчивания менее $2.24 \times P \times d^{0.2}$; N – нормальные: с длиной свинчивания не менее $2.24 \times P \times d^{0.2}$ и не более $66.7 \times P \times d^{0.2}$; L – длинные: с длиной свинчивания более $6.7 \times P \times d^{0.2}$. Точные значения длин свинчивания установлены ГОСТ 16093-81.

Класс точности - понятие условное (на чертежах указывают поля допусков), и его используют для сравнительной оценки точности резьбы. *Точный класс* рекомендуется для ответственных резьбовых соединений. *Средний класс* - для резьб общего назначения. *Грубый класс* - для резьб, нарезаемых на горячекатаных заготовках, в длинных глухих отверстиях и т.п. Соотношение классов точности и допусков представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 Соотношение классов точности и допусков для различных деталей

Деталь	Класс точности	Поле допуска при длине свинчивания		
		S - короткая	N - нормальная	L - длинная
Наружная резьба (болт)	Точный	-	4h 4g	-
	Средний	5h6h 5g6g	6h 6g 6f 6e 6d	7g6g
	Грубый	-	8g	-
Внутренняя резьба (гайка)	Точный	4H	4H5H 5H	6H
	Средний	5H	6H 6G	7H
	Грубый	-	7H 7G	8H

Примечания: для получения различных посадок можно применять любые сочетания полей допусков резьбы болтов и гаек. При длинах свинчивания S и L допускается применять поля допусков, установленные для длин свинчивания N.

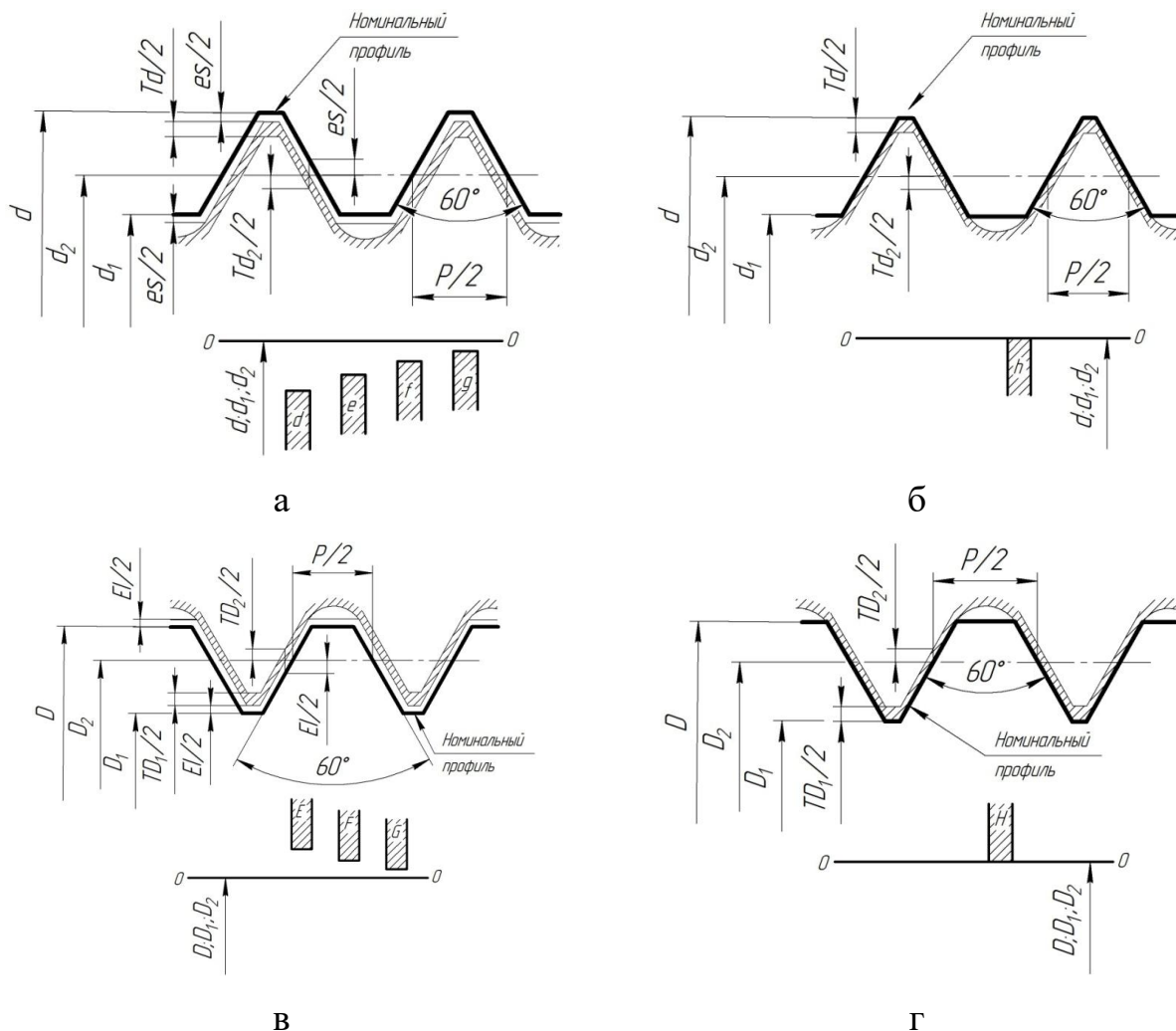


Рис. 5.2 Расположение полей допусков внутренней и наружной резьбы: а - с основными отклонениями d , e , f , g ; б - с основными отклонениями h ; в - с основными отклонениями E , F , G ; г - с основными отклонениями H , h .

В табл. 5.3 и 5.4 приведены допуски резьб. Для болта нижнее отклонение диаметра d_1 не устанавливается, но косвенно ограничивается формой впадины болта. Для гайки верхнее отклонение диаметра D не устанавливается.

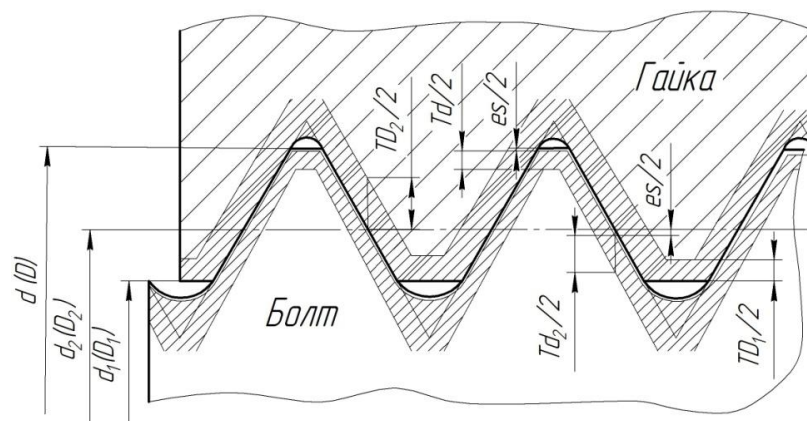


Рис. 5.3. Резбовое соединение

Таблица 5.3 Поле допуска наружной резьбы (в сокращении)

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска наружной резьбы																													
		4g						4h						5h4h						5g6g						5h6h					
		Диаметр резьбы																													
		d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1						
		Предельные отклонения, мкм																													
	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	es	ei	es					
Св. 5,6 до 11,2	0,25	-18	-60	-18	-58	-18	0	-42	0	-40	0	0	-42	0	-50	0	-18	-85	-18	-68	-18	0	-67	0	-50	0					
	0,35	-19	-72	-19	-64	-19	0	-53	0	-45	0	0	-53	0	-56	0	-19	-104	-19	-75	-19	0	-85	0	-56	0					
	0,5	-20	-87	-20	-73	-20	0	-67	0	-53	0	0	-67	0	-67	0	-20	-126	-20	-87	-20	0	-106	0	-67	0					
	0,75	-22	-112	-22	-85	-22	0	-90	0	-63	0	0	-90	0	-80	0	-22	-162	-22	-102	-22	0	-140	0	-80	0					
	1	-26	-138	-26	-97	-26	0	-112	0	-71	0	0	-112	0	-90	0	-26	-206	-26	-116	-26	0	-180	0	-90	0					
	1,25	-28	-160	-28	-103	-28	0	-132	0	-75	0	0	-132	0	-95	0	-28	-240	-28	-123	-28	0	-212	0	-95	0					
	1,5	-32	-182	-32	-117	-32	0	-150	0	-85	0	0	-150	0	-106	0	-32	-268	-32	-138	-32	0	-236	0	-106	0					
Св. 11,2 до 22,4	0,35	-19	-72	-19	-67	-19	0	-53	0	-48	0	0	-53	0	-60	0	-19	-104	-19	-79	-19	0	-85	0	-60	0					
	0,5	-20	-87	-20	-76	-20	0	-67	0	-56	0	0	-67	0	-71	0	-20	-126	-20	-91	-20	0	-106	0	-71	0					
	0,75	-22	-112	-22	-89	-22	0	-90	0	-67	0	0	-90	0	-85	0	-22	-162	-22	-107	-22	0	-140	0	-85	0					
	1	-26	-138	-26	-101	-26	0	-112	0	-75	0	0	-112	0	-95	0	-26	-206	-26	-121	-26	0	-180	0	-95	0					
	1,25	-28	-160	-28	-113	-28	0	-132	0	-85	0	0	-132	0	-103	0	-28	-240	-28	-134	-28	0	-212	0	-106	0					
	1,5	-32	-182	-32	-122	-32	0	-150	0	-90	0	0	-150	0	-112	0	-32	-268	-32	-144	-32	0	-236	0	-112	0					
	1,75	-34	-204	-34	-129	-34	0	-170	0	-95	0	0	-170	0	-118	0	-34	-299	-34	-152	-34	0	-265	0	-118	0					
	2	-38	-218	-38	-138	-38	0	-180	0	-101	0	0	-180	0	-125	0	-38	-318	-38	-163	-38	0	-280	0	-125	0					
	2,5	-42	-254	-42	-148	-42	0	-212	0	-106	0	0	-212	0	-132	0	-42	-377	-42	-174	-42	0	-335	0	-132	0					
Св. 22,4 до 45	0,5	-20	-87	-20	-80	-20	0	-67	0	-60	0	0	-67	0	-75	0	-20	-126	-20	-95	-20	0	-106	0	-75	0					
	0,75	-22	-112	-22	-93	-22	0	-90	0	-71	0	0	-90	0	-90	0	-22	-162	-22	-112	-22	0	-140	0	-90	0					
	1	-26	-138	-26	-106	-26	0	-112	0	-80	0	0	-112	0	-100	0	-26	-206	-26	-126	-26	0	-180	0	-100	0					
	1,5	-32	-182	-32	-127	-32	0	-150	0	-95	0	0	-150	0	-118	0	-32	-268	-32	-150	-32	0	-236	0	-118	0					
	2	-38	-218	-38	-144	-38	0	-180	0	-106	0	0	-180	0	-132	0	-38	-318	-38	-170	-38	0	-280	0	-132	0					
	3	-48	-284	-48	-173	-48	0	-236	0	-125	0	0	-236	0	-160	0	-48	-423	-48	-208	-48	0	-375	0	-160	0					
	3,5	-53	-318	-53	-185	-53	0	-265	0	-132	0	0	-265	0	-170	0	-53	-478	-53	-223	-53	0	-425	0	-170	0					
	4	-60	-360	-60	-200	-60	0	-300	0	-140	0	0	-300	0	-180	0	-60	-535	-60	-240	-60	0	-475	0	-180	0					
	4,5	-63	-378	-63	-213	-63	0	-315	0	-150	0	0	-315	0	-190	0	-63	-563	-63	-253	-63	0	-500	0	-190	0					

Продолжение таблицы 5.3

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска наружной резьбы																			
		6d					6e					6f					6g				
		Диаметр резьбы																			
		d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1		
		Предельные отклонения, мкм																			
		es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска наружной резьбы																							
		6d						6e						6f						6g					
		Диаметр резьбы																							
		d		d_2		d_1		d		d_2		d_1		d		d_2		d_1		d		d_2		d_1	
		Предельные отклонения, мкм																							
		es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es		
Св. 5,6 до 11,2	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-33	-100	-33	-96	-33	-18	-85	-18	-81	-18			
	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-34	-119	-34	-105	-34	-19	-104	-19	-90	-19			
	0,5	-	-	-	-	-	-50	-156	-50	-135	-50	-36	-142	-36	-121	-36	-20	-126	-20	-105	-20				
	0,75	-	-	-	-	-	-56	-196	-56	-156	-56	-38	-178	-38	-138	-38	-22	-162	-22	-122	-22				
	1	-90	-270	-90	-202	-90	-60	-240	-60	-172	-60	-40	-220	-40	-152	-40	-26	-206	-26	-138	-26				
	1,25	-95	-307	-95	-213	-95	-63	-275	-63	-181	-63	-42	-254	-42	-160	-42	-28	-240	-28	-146	-28				
	1,5	-95	-331	-95	-227	-95	-67	-303	-67	-199	-67	-45	-281	-45	-177	-45	-32	-268	-32	-164	-32				
Св. 11,2 до 22,4	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-34	-119	-34	-109	-34	-19	-104	-19	-94	-19				
	0,5	-	-	-	-	-	-50	-156	-50	-140	-50	-36	-142	-36	-126	-36	-20	-126	-20	-110	-20				
	0,75	-	-	-	-	-	-56	-196	-56	-162	-56	-38	-178	-38	-144	-38	-22	-162	-22	-128	-22				
	1	-90	-270	-90	-208	-95	-60	-240	-60	-178	-60	-40	-220	-40	-158	-40	-26	-206	-26	-144	-26				
	1,25	-95	-307	-95	-227	-95	-63	-275	-63	-195	-63	-42	-254	-42	-174	-42	-28	-240	-28	-160	-28				
	1,5	-95	-331	-95	-235	-90	-67	-303	-67	-207	-67	-45	-281	-45	-185	-45	-32	-268	-32	-172	-32				
	1,75	-100	-365	-100	-250	-100	-71	-336	-71	-221	-71	-48	-313	-48	-198	-48	-34	-299	-34	-184	-34				
	2	-100	-380	-100	-260	-100	-71	-351	-71	-231	-71	-52	-332	-52	-212	-52	-38	-318	-38	-198	-38				
	2,5	-106	-441	-106	-276	-106	-80	-415	-80	-250	-80	-58	-393	-58	-228	-58	-42	-377	-42	-212	-42				
Св. 22,4 до 45	0,5	-	-	-	-	-	-50	-156	-50	-145	-50	-36	-142	-36	-131	-36	-20	-126	-20	-115	-20				
	0,75	-	-	-	-	-	-56	-196	-56	-168	-56	-38	-178	-38	-150	-38	-22	-162	-22	-134	-22				
	1	-90	-270	-90	-215	-90	-60	-240	-60	-185	-60	-40	-220	-40	-165	-40	-26	-206	-26	-151	-26				
	1,5	-95	-331	-95	-245	-95	-67	-303	-67	-217	-67	-45	-281	-45	-195	-45	-32	-268	-32	-182	-32				
	2	-100	-380	-100	-270	-100	-71	-351	-71	-241	-71	-52	-332	-52	-222	-52	-38	-318	-38	-208	-38				
	3	-112	-487	-112	-312	-112	-85	-460	-85	-285	-85	-63	-438	-63	-263	-63	-48	-423	-48	-248	-48				
	3,5	-118	-543	-118	-330	-118	-90	-515	-90	-302	-90	-	-	-	-	-	-53	-478	-53	-265	-53				
	4	-125	-600	-125	-349	-125	-95	-570	-95	-319	-95	-	-	-	-	-	-60	-535	-60	-284	-60				
	4,5	-132	-632	-132	-368	-132	-100	-600	-100	-336	-100	-	-	-	-	-	-63	-563	-63	-296	-63				

Продолжение таблицы 5.3

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска наружной резьбы																				
		6h					7e6e					7g6g					8g					
		Диаметр резьбы																				
		d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1			
		Предельные отклонения, мкм																				
	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es		
Св. 5,6 до 11,2	0,25	0	-67	0	-63	0	-	-	-	-	-	-	(-18)	(-85)	(-18)	(-99)	(-18)	-24	-260	-24	-174	-24
	0,35	0	-85	0	-71	0	-	-	-	-	-	-	-19	-104	-19	-109	-19	-	-	-	-	-
	0,5	0	-106	0	-85	0	-50	-156	-50	-156	-50	-20	-126	-20	-126	-20	-	-	-	-	-	-
	0,75	0	-140	0	-100	0	-56	-196	-56	-181	-56	-22	-162	-22	-147	-22	-	-	-	-	-	-

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска наружной резьбы																			
		6h					7e6e					7g6g					8g				
		Диаметр резьбы																			
		d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1	d	d_2	d_1		
		Предельные отклонения, мкм																			
		es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es	es	ei	es	ei	es
	1	0	-180	0	-112	0	-60	-240	-60	-200	-60	-26	-206	-26	-166	-26	-	-	-	-	-
	1,25	0	-212	0	-118	0	-63	-275	-63	-213	-63	-28	-240	-28	-178	-28	-26	-306	-26	-206	-26
	1,5	0	-236	0	-132	0	-67	-303	-67	-237	-67	-32	-268	-32	-202	-32	-28	-363	-28	-218	-28
Св. 11,2 до 22,4	0,35	0	-85	0	-75	0	-	-	-	-	-	-19	-104	-19	-114	-19	-32	-407	-32	-244	-32
	0,5	0	-106	0	-90	0	-50	-156	-50	-162	-50	-20	-126	-20	-132	-20	-	-	-	-	-
	0,75	0	-140	0	-106	0	-56	-196	-56	-188	-56	-22	-162	-22	-154	-22	-	-	-	-	-
	1	0	-180	0	-118	0	-60	-240	-60	-210	-60	-26	-206	-26	-176	-26	-	-	-	-	-
	1,25	0	-212	0	-132	0	-63	-275	-63	-233	-63	-28	-240	-28	-198	-28	-26	-306	-26	-216	-26
	1,5	0	-236	0	-140	0	-67	-303	-67	-247	-67	-32	-268	-32	-212	-32	-28	-363	-28	-240	-28
	1,75	0	-265	0	-150	0	-71	-336	-71	-261	-71	-34	-299	-34	-224	-34	-32	-407	-32	-256	-32
	2	0	-280	0	-160	0	-71	-351	-71	-271	-71	-38	-318	-38	-238	-38	-34	-459	-34	-270	-34
	2,5	0	-335	0	-170	0	-80	-415	-80	-292	-80	-42	-377	-42	-254	-42	-38	-488	-38	-288	-38
Св. 22,4 до 45	0,5	0	-106	0	-95	0	-50	-156	-50	-168	-50	-20	-126	-20	-138	-20	-42	-572	-42	-307	-42
	0,75	0	-140	0	-112	0	-56	-196	-56	-196	-56	-22	-162	-22	-162	-22	-	-	-	-	-
	1	0	-180	0	-125	0	-60	-240	-60	-226	-60	-26	-206	-26	-186	-26	-	-	-	-	-
	1,5	0	-236	0	-150	0	-67	-303	-67	-257	-67	-32	-268	-32	-222	-32	-26	-306	-26	-226	-26
	2	0	-280	0	-170	0	-71	-351	-71	-283	-71	-38	-318	-38	-250	-38	-32	-407	-32	-268	-32
	3	0	-375	0	-200	0	-85	-460	-85	-335	-85	-48	-423	-48	-298	-48	-38	-488	-38	-303	-38
	3,5	0	-425	0	-212	0	-90	-515	-90	-355	-90	-53	-478	-53	-318	-53	-48	-648	-48	-363	-48
	4	0	-475	0	-224	0	-95	-570	-95	-375	-95	-60	-535	-60	-340	-60	-53	-723	-53	-388	-53
	4,5	0	-500	0	-236	0	-100	-600	-100	-400	-100	-63	-563	-63	-363	-63	-60	-810	-60	-415	-60

Таблица 5.4 Поле допуска внутренней резьбы (в сокращении)

Номиналь-ный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска внутренней резьбы																			
		4H					4H5H					5G					5H				
		Диаметр резьбы																			
		D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1					
		Предельные отношения, мкм																			
		EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	ES
Св. 5,6 до 11,2	0,25	0	+53	0	+45	0	0	+53	0	+56	0	+18	+85	+18	+74	+18	0	+67	0	+56	0
	0,35	0	+60	0	+63	0	0	+60	0	+80	0	+19	+94	+19	+99	+19	0	+75	0	+80	0
	0,5	0	+71	0	+90	0	0	+71	0	+112	0	+20	+110	+20	+132	+20	0	+90	0	+112	0
	0,75	0	+85	0	+118	0	0	+85	0	+150	0	+22	+128	+22	+172	+22	0	+106	0	+150	0
	1	0	+95	0	+150	0	0	+95	0	+190	0	+26	+144	+26	+216	+26	0	+118	0	+190	0
	1,25	0	+100	0	+170	0	0	+100	0	+212	0	+28	+153	+28	+240	+28	0	+125	0	+212	0
	1,5	0	+112	0	+190	0	0	+112	0	+236	0	+32	+172	+32	+268	+32	0	+140	0	+236	0
Св. 11,2 до 22,4	0,35	0	+63	0	+63	0	0	+63	0	+80	0	+19	+99	+19	+99	+19	0	+80	0	+80	0

Номиналь-ный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска внутренней резьбы																					
		4H						4H5H						5G						5H			
		Диаметр резьбы																					
		D	D_2	D_1		D	D_2	D_1		D	D_2	D_1		D	D_2	D_1							
		Предельные отношения, мкм																					
		EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI		
	0,5	0	+75	0	+90	0	0	+75	0	+112	0	+20	+115	+20	+132	+20	0	+95	0	+112	0		
	0,75	0	+90	0	+118	0	0	+90	0	+150	0	+22	+134	+22	+172	+22	0	+112	0	+150	0		
	1	0	+100	0	+150	0	0	+100	0	+190	0	+26	+151	+26	+216	+26	0	+125	0	+190	0		
	1,25	0	+112	0	+170	0	0	+112	0	+212	0	+28	+168	+28	+240	+28	0	+140	0	+212	0		
	1,5	0	+118	0	+190	0	0	+118	0	+236	0	+32	+182	+32	+268	+32	0	+150	0	+236	0		
	1,75	0	+125	0	+212	0	0	+125	0	+265	0	+34	+194	+34	+299	+34	0	+160	0	+265	0		
	2	0	+132	0	+236	0	0	+132	0	+300	0	+38	+208	+38	+338	+38	0	+170	0	+300	0		
	2,5	0	+140	0	+280	0	0	+140	0	+355	0	+42	+222	+42	+397	+42	0	+180	0	+355	0		
Св. 22,4 до 45	0,5	0	+80	0	+90	0	0	+80	0	+112	0	+20	+120	+20	+132	+20	0	+100	0	+112	0		
	0,75	0	+95	0	+118	0	0	+95	0	+150	0	+22	+140	+22	+172	+22	0	+118	0	+150	0		
	1	0	+106	0	+150	0	0	+106	0	+190	0	+26	+158	+26	+216	+26	0	+132	0	+190	0		
	1,5	0	+125	0	+190	0	0	+125	0	+236	0	+32	+192	+32	+268	+32	0	+160	0	+236	0		
	2	0	+140	0	+236	0	0	+140	0	+300	0	+38	+218	+38	+338	+38	0	+180	0	+300	0		
	3	0	+170	0	+315	0	0	+170	0	+400	0	+48	+260	+48	+448	+48	0	+212	0	+400	0		
	3,5	0	+180	0	+355	0	0	+180	0	+450	0	+53	+277	+53	+503	+53	0	+224	0	+450	0		
	4	0	+190	0	+375	0	0	+190	0	+475	0	+60	+296	+60	+535	+60	0	+236	0	+475	0		
	4,5	0	+200	0	+425	0	0	+200	0	+530	0	+63	+313	+63	+593	+63	0	+250	0	+530	0		

Продолжение таблицы 5.4

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска внутренней резьбы																	
		6G						6H						7G					
		Диаметр резьбы																	
		D	D_2		D_1		D	D_2		D_1		D	D_2		D_1				
		Предельные отклонения, мкм																	
		EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI	ES	EI	
Св. 5,6 до 11,2	0,25	+18	+103	+18	+89	+18	0	+85	0	+71	0	-	-	-	-	-	-		
	0,35	+19	+114	+19	+119	+19	0	+95	0	+100	0	-	-	-	-	-	-		
	0,5	+20	+132	+20	+160	+20	0	+112	0	+140	0	+20	+160	+20	+200	+20	-		
	0,75	+22	+154	+22	+212	+22	0	+132	0	+190	0	+22	+192	+22	+258	+22	-		
	1	+26	+176	+26	+262	+26	0	+150	0	+236	0	+26	+216	+26	+326	+26	-		
	1,25	+28	+188	+28	+293	+28	0	+160	0	+265	0	+28	+228	+28	+363	+28	-		
	1,5	+32	+212	+32	+332	+32	0	+180	0	+300	0	+32	+256	+32	+407	+32	-		
Св. 11,2 до 22,4	0,35	+19	+119	+19	+119	+19	0	+100	0	+100	0	-	-	-	-	-	-		
	0,5	+20	+138	+20	+160	+20	0	+118	0	+140	0	+20	+170	+20	+200	+20	-		
	0,75	+22	+162	+22	+212	+22	0	+140	0	+190	0	+22	+202	+22	+258	+22	-		
	1	+26	+186	+26	+262	+26	0	+160	0	+236	0	+26	+226	+26	+326	+26	-		
	1,25	+28	+208	+28	+293	+28	0	+180	0	+265	0	+28	+252	+28	+363	+28	-		

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска внутренней резьбы														
		6G					6H					7G				
		Диаметр резьбы														
		D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1			
		Предельные отклонения, мкм														
		EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI
	1,5	+32	+222	+32	+332	+32	0	+190	0	+300	0	+32	+268	+32	+407	+32
	1,75	+34	+234	+34	+369	+34	0	+200	0	+335	0	+34	+284	+34	+459	+34
	2	+38	+250	+38	+413	+38	0	+212	0	+375	0	+38	+303	+38	+513	+38
	2,5	+42	+266	+42	+492	+42	0	+224	0	+450	0	+42	+322	+42	+602	+42
Св. 22,4 до 45	0,5	+20	+145	+20	+160	+20	0	+125	0	+140	0	-	-	-	-	-
	0,75	+22	+172	+22	+212	+22	0	+150	0	+190	0	+22	+212	+22	+258	+22
	1	+26	+196	+26	+262	+26	0	+170	0	+236	0	+26	+238	+26	+326	+26
	1,5	+32	+232	+32	+332	+32	0	+200	0	+300	0	+32	+282	+32	+407	+32
	2	+38	+262	+38	+413	+38	0	+224	0	+375	0	+38	+318	+38	+513	+38
	3	+48	+313	+48	+548	+48	0	+265	0	+500	0	+48	+383	+48	+678	+48
	3,5	+53	+333	+53	+613	+53	0	+280	0	+560	0	+53	+408	+53	+763	+53
	4	+60	+360	+60	+660	+60	0	+300	0	+600	0	+60	+435	+60	+810	+60
	4,5	+63	+378	+63	+733	+63	0	+315	0	+670	0	+63	+463	+63	+913	+63

Продолжение таблицы 5.4

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска внутренней резьбы														
		7H					8G					8H				
		Диаметр резьбы														
		D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1
		Предельные отклонения, мкм														
		EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI
Св. 5,6 до 11,2	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,5	0	+140	0	+180	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,75	0	+170	0	+236	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	0	+190	0	+300	0	+26	+262	+26	+401	+26	0	+236	0	+375	0
	1,25	0	+200	0	+335	0	+28	+278	+28	+453	+28	0	+250	0	+425	0
	1,5	0	+224	0	+375	0	+32	+312	+32	+507	+32	0	+280	0	+475	0
Св. 11,2 до 22,4	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,5	0	+150	0	+180	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,75	0	+180	0	+236	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	0	+200	0	+300	0	+26	+276	+26	+401	+26	0	+250	0	+375	0
	1,25	0	+224	0	+335	0	+28	+308	+28	+453	+28	0	+280	0	+425	0
	1,5	0	+236	0	+375	0	+32	+332	+32	+507	+32	0	+300	0	+475	0
Св. 22,4 до 45	1,75	0	+250	0	+425	0	+34	+349	+34	+564	+34	0	+315	0	+530	0
	2	0	+265	0	+455	0	+38	+373	+38	+638	+38	0	+335	0	+600	0
	2,5	0	+280	0	+560	0	+42	+397	+42	+752	+42	0	+355	0	+710	0

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг P , мм	Поле допуска внутренней резьбы														
		7H					8G					8H				
		Диаметр резьбы														
		D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1	D	D_2	D_1
		Предельные отклонения, мкм														
		EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI	EI	ES	EI	ES	EI
	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,75	0	+190	0	+236	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	0	+212	0	+300	0	+26	+291	+26	+401	+26	0	+265	0	+375	0
Св. 22,4 до 45	1,5	0	+250	0	+375	0	+32	+347	+32	+507	+32	0	+315	0	+475	0
	2	0	+280	0	+475	0	+38	+393	+38	+638	+38	0	+355	0	+600	0
	3	0	+335	0	+630	0	+48	+473	+48	+848	+48	0	+425	0	+800	0
	3,5	0	+355	0	+710	0	+53	+503	+53	+953	+53	0	+450	0	+900	0
	4	0	+375	0	+750	0	+60	+535	+60	+1010	+60	0	+475	0	+950	0
	4,5	0	+400	0	+850	0	+63	+563	+63	+1123	+63	0	+500	0	+1060	0

Условные обозначения метрических резьб. Примеры обозначения посадок метрических резьб приведены на рис. 5.4. Если обозначение поля допуска наружного диаметра у болта или внутреннего диаметра у гайки совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, его в обозначении не приводят. Пример условного обозначения резьбового сопряжения с левой резьбой и мелким шагом $P=1$ мм: $M12 \times 1 LH-6H/6g$. В силу особенностей обозначения резьб необходимо иметь ввиду, что диаметр отверстия под резьбу меньше, чем номинальный размер и определяется по таблице 5.5.

Таблица 5.5. Расчет диаметра отверстия под резьбу.

Шаг резьбы, мм	диаметр отверстия		Шаг резьбы, мм	диаметр отверстия	
	номинал, мм	допуск, мм		номинал, мм	допуск, мм
0.5	-0,5	+0,1	3	-3,18	+0,31
0.75	-0,77	+0,15	3.5	-3,7	+0,33
1	-1,04	+0,16	4	-4,23	+0,38
1.25	-1,3	+0,16	4.5	-4,75	+0,43
1.5	-1,55	+0,17	5	-5,3	+0,48
1.75	-1,82	+0,2	5.5	-5,85	+0,54
2	-2,1	+0,23	6	-6,38	+0,58
2.5	-2,64	+0,25			

Шаг резьбы, мм	диаметр отверстия		Шаг резьбы, мм	диаметр отверстия	
	номинал, мм	допуск, мм		номинал, мм	допуск, мм
Пример: M10x1,5 = 8.45 ^{+0.17}					

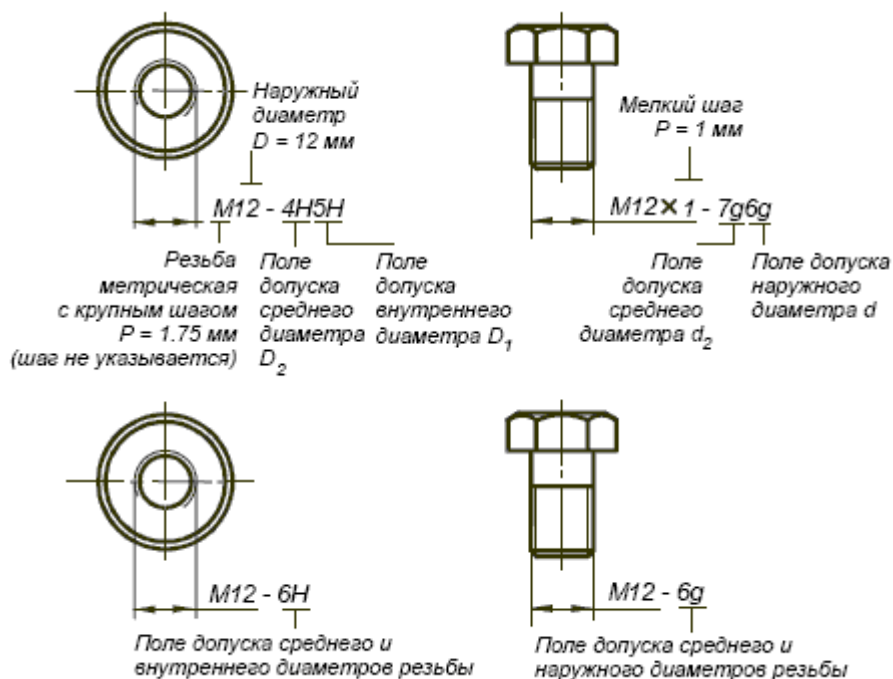


Рис. 5.4 Примеры обозначения посадок метрических резьб

Последовательность выполнения работы.

1. Изучите теоретические предпосылки, приведенные в данных методических указаниях.
2. Получите задание у преподавателя.
3. Определите основные параметры крепежной резьбы d_2 (D_2), d (D), d_1 (D_1) и их отклонения из табл. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4.
4. Приведите схемы с основными размерами резьбы. Рассчитайте и постройте схемы расположения полей допусков в резьбовом соединении.
5. Сформируйте обозначение резьбового соединения.
6. Рассчитайте диаметр отверстия под резьбу таблица 5.5.

Контрольные вопросы

1. Что такое метрическая резьба?
2. Какие параметры метрической резьбы нормируются?
3. Как определяется длина свинчивания резьбы?

4. Какие классы точности резьбы используются?
5. Как формируется обозначение резьбы?
6. Какие параметры не нормируются для резьбы болта? Для резьбы гайки?
7. Как определить размер отверстия для нарезания резьбы в гайке?

Практическая работа № 6

Нормирование и нанесение отклонений формы и расположения поверхностей на чертеж детали

Цель работы. Ознакомиться с видами нормируемых параметров точности формы и расположения поверхностей детали и принципами их нормирования.

Теоретические предпосылки.

Точность геометрических параметров деталей характеризуется не только точностью размеров ее элементов, но и точностью формы и взаимного расположения поверхностей. 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 25069-81. Неуказанные допуски формы и расположения поверхностей.

ГОСТ 2.308-79. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей.

В соответствии с ГОСТ 24642-81 базовый элемент для оценки отклонений формы - элемент номинальной формы, служащий основой для оценки отклонений формы реальной поверхности или реального профиля. Прилегающая поверхность – это 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. На рис. 6.1 приведены примеры из ГОСТ 24642-81.

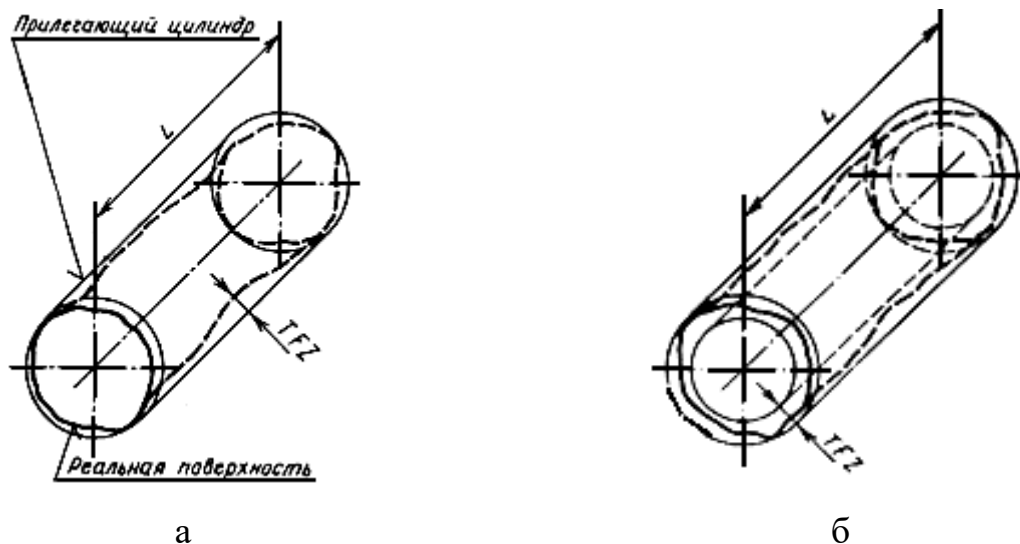


Рис. 6.1. Отклонение от цилиндричности (а) и поле допуска цилиндричности (б)

Отклонением формы **EF** называется отклонение формы реального элемента от номинальной формы, оцениваемое наибольшим расстоянием от точек реального элемента по нормали к прилегающему элементу. Неровности, относящиеся к шероховатости поверхности, в отклонения формы не включаются. Допуском формы **TF** называется наибольшее допускаемое значение отклонения формы. Виды допусков, их обозначение и изображение на чертежах по ГОСТ 24642-81 приведены в таблицах 6.1 и 6.2. Числовые значения допусков в зависимости от степени точности приведены в ГОСТ 24643-81. Выбор допусков зависит от конструктивных и технологических требований и, кроме того, связан с допуском размера. Поле допуска размера для сопрягаемых поверхностей ограничивает также и любые отклонения формы на длине соединения. Ни одно из отклонений формы не может превысить допуска размера. Допуски формы назначают только в тех случаях, когда они должны быть меньше допуска размера.

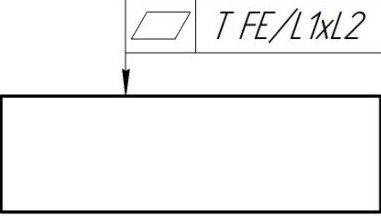
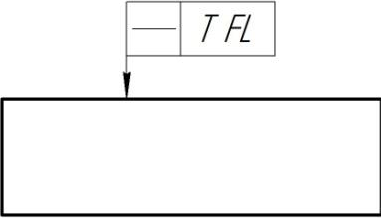
Таблица 6.1 Вид допуска и его обозначение по ГОСТ 24642-81

вид допуска и его обозначение по ГОСТ	Обозначение	изображение на чертеже

допуск цилиндричности	TFZ	
допуск круглости	TFK	
допуск профиля продольного сечения цилиндрической поверхности	TFP	
допуск плоскостности	TFE	
допуск прямолинейности	TFL	

Таблица 6.2 Вид допуска и его обозначение на чертеже

отклонение от цилиндричности	
	Отклонение от цилиндричности – наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка (L).
отклонение от круглости	
	Отклонение от круглости — наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности. Частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка.
отклонение профиля продольного сечения цилиндрической поверхности	
	Отклонение профиля продольного сечения – наибольшее расстояние от точек образующих (образующих цилиндрической поверхности) реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка (L). Элементарными видами являются конусообразность, бочкообразность, седловидность, изогнутость.

отклонение от плоскостности	
	Отклонение от плоскостности - наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка.
отклонение от прямолинейности	
	Отклонение от прямолинейности в плоскости - наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка. Частными видами являются выпуклость и вогнутость.

Отклонения и допуски расположения поверхностей. Отклонением расположения EP называется отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения. Под номинальным понимается расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми размерами. Для оценки точности расположения поверхностей, как правило, назначают базы. Допуском расположения называется предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения поверхностей. 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. В таблице 6.3 приведены допуски, ограничивающие отклонения расположения между цилиндрическими и плоскими поверхностями, их обозначение и изображение на чертежах по ГОСТ 24642-81. Оценка величины отклонения расположения производится по расположению прилегающей поверхности, проведенной к реальной поверхности; таким образом исключаются из рассмотрения отклонения формы. В примечаниях (таблице 6.3) указаны допуски,

которые могут назначаться либо в радиусном, либо в диаметральном выражениях. При нанесении этих допусков на чертежах следует указывать соответствующий знак перед числовым значением допуска.

Таблица 6.3 Виды допусков







	плоскость			цилиндр		
	вид допуска расположения	изобра- жение	прим.	вид допуска расположения	изобра- жение	прим.
Плоскость	параллельности TPA	//				
	перпендикулярности TPR	⊥				
	наклона TPN	∠				
	симметричности TPS	≡	T, T/2			
Продолжение Таблицы 6.3						
Цилиндр	параллельности TPA	//		параллельности осей TPAx	//	
	перпендикулярности TPR	⊥		перекоса осей TPAy	//	
	наклона TPN	∠		перпендикулярности TPR	⊥	
	симметричности TPS	≡	T, T/2	наклона TPN	∠	
	позиционный TPR	⊕	∞, R	соосности TPC	⊙	∞, R
				позиционный TPR	⊕	∞, R
				пересечения TPX	×	T, T/2

Суммарные допуски и отклонения формы и расположения поверхностей

Суммарным отклонением формы и расположения **ЕС** называется отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности или рассматриваемого профиля относительно баз. Поле суммарного допуска формы и расположения **ТС** — 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. Виды суммарных допусков, их обозначение приведены по ГОСТ 24642-81 в таблице 6.4.

Таблица 6.4 Обозначение суммарных допусков по ГОСТ

допуск торцевого биения TCA	
допуск полного торцевого биения TCTA	
допуск радиального биения TCR	
допуск полного радиального биения TCTR	
допуск биения в заданном направлении TCD	
допуск формы заданного профиля TCL	
допуск формы заданной поверхности TCE	

Указание допусков формы и расположения поверхностей на чертежах.

Допуски формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными обозначениями. Указание допусков формы и расположения текстом в технических требованиях допустимо лишь в тех случаях, когда отсутствует знак вида допуска. При условном обозначении данные о допусках формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на части (рис. 6.1), в первой части которой указывается знак допуска, во второй – числовое значение допуска, а при необходимости и длину нормируемого участка, в третьей и последующих частях – буквенное обозначение баз. Рамку рекомендуется выполнять в горизонтальном положении. Пересекать рамку допуска какими-либо линиями не допускается. Если допуск относится к оси или к плоскости симметрии, то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии (рис. 6.1). Если же отклонение или база относятся к поверхности, то соединительная линия не должна совпадать с размерной. Если размер элемента уже указан, размерная линия должна быть без размера, и ее рассматривают как составную часть условного обозначения допуска. Числовое значение допуска действительно для всей поверхности или длины элемента, если не задан нормируемый участок. Если для одного элемента необходимо задать два разных вида допуска, то рамки допуска можно объединять и располагать их

так, как показано на рис. 6.2. Базы обозначают зачерненным треугольником, который соединяют при помощи соединительной линии с рамкой допуска или рамкой, в которой указывают буквенное обозначение базы. Если нет необходимости выделять как базу ни одну из поверхностей, то треугольник заменяют стрелкой. Линейные размеры, определяющие номинальное расположение элементов, ограничиваемых допуском расположения, указывают на чертежах в прямоугольных рамках. Если допуск расположения или формы не указан как зависимый, то его считают независимым. Числовые значения допусков формы, допусков расположения и суммарных допусков формы и расположения поверхностей должны соответствовать указанным в табл. 6.5.

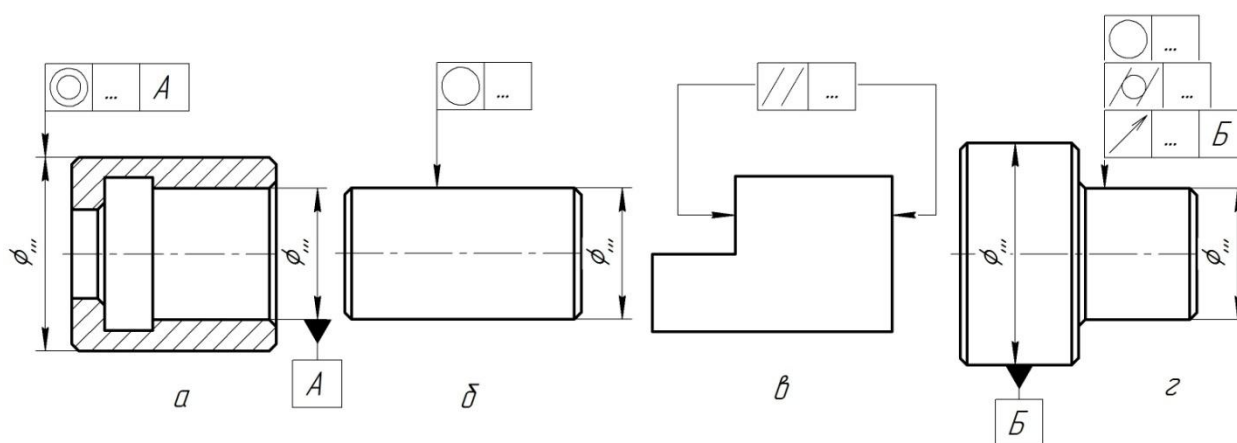


Рис. 6.2. Нанесение допусков отклонения точности формы и взаимного расположения поверхностей детали

Таблица 6.5. Числовые значения допусков формы, допусков расположения и суммарных допусков формы и расположения поверхностей

МКМ									
0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
10	12	16	20	25	30	40	50	60	80
100	120	160	200	250	300	400	500	600	800
1000	1200	1600	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000
10000	12000	16000	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 6.6. Уровни относительной геометрической точности и соответствующие им степени точности формы цилиндрических поверхностей

Квалитеты допуска размера	4			5			6			7			8		
Уровни геометрической точности	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Степени точности по ГОСТ 24643-81	2	3	1	4	3	2	5	4	3	6	5	4	7	6	5
Квалитеты допуска размера	9			10			11			12			-		
Уровни геометрической точности	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	-	-	-
Степени точности по ГОСТ 24643-81	8	7	6	9	8	7	10	9	8	11	10	9	-	-	

Таблица 6.7. Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения (в сокращении)

Интервалы номинальных* размеров, мм	Степени точности											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения, мкм											
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
Св. 3 до 10	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60
Св. 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 18 до 30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 30 до 50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 50 до 120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св.120 до 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200

*Под номинальным размером понимается номинальный диаметр поверхности.

Таблица 6.8 Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения (в сокращении)

Интервалы номинальных размеров, мм	Степени точности											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения, мкм											
До 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 10 до 16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 16 до 25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 25 до 40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 40 до 63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160
Св. 63 до 100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200
Св. 100 до 160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
Св. 160 до 250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300

Примечание. При назначении допусков параллельности, перпендикулярности, наклона под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка или номинальная длина всей рассматриваемой поверхности (для допуска параллельности - номинальная длина большей стороны), если нормируемый участок не задан. При назначении допусков торцевого биения под номинальным размером понимается заданный номинальный диаметр или номинальный больший диаметр торцевой поверхности. При назначении допусков полного торцевого биения под номинальным размером понимается номинальный больший диаметр рассматриваемой торцевой поверхности.

Таблица 6.9 Допуски радиального биения и полного радиального биения, допуски соосности, симметричности, пересечения осей в диаметральном выражении (в сокращении)

Интервалы номинальных размеров, мм	Степени точности												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
	Допуски радиального биения и полного радиального биения. Допуски соосности, симметричности, пересечения осей в диаметральном выражении, мкм												
До 3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	-
Св. 3 до 10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	-

Св. 10 до 18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	-
Св. 18 до 30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	-
Св. 30 до 50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	-
Св. 50 до 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	-
Св.120 до 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	-

Примечание. При назначении допусков радиального биения и полного радиального биения под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности. При назначении допусков соосности, симметричности, пересечения осей под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности вращения или номинальный размер между поверхностями, образующими рассматриваемый симметричный элемент. Если база не указывается, то допуск определяется по элементу с большим размером.

Методика выполнения работы.

Студенту выдается заготовка чертежа, на котором указано, какие требования к точности формы и точности взаимного расположения поверхностей необходимо нанести на чертеж.

1. Проанализируйте чертеж детали. Опишите кратко физическую сущность каждого из требований.
2. Определите степень точности из таблицы 6.6.
3. Выпишите допуски на заданные параметры (см. табл. 6.7, 6.8 и 6.9).
4. Вычертите эскиз детали и нанесите на него требования к точности формы и взаимного расположения поверхностей с учетом вышеперечисленных требований и таблицы 6.5.

Контрольные вопросы.

1. Какими стандартами регламентируются допуски формы и расположения поверхностей?
2. Что называется отклонением формы EF?
3. Что называется допуском формы TF?
4. Когда назначают допуски формы?

5. Что называется отклонением от цилиндричности?
6. Что называется отклонением от круглости?
7. Что называется отклонением профиля продольного сечения?
8. Что называется отклонением от плоскостности?
9. Что называется отклонением от прямолинейности в плоскости?
10. Перечислите отклонения и допуски расположения поверхностей.
11. Что называется суммарным отклонением формы и расположения

ЕС?

12. Приведите обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертежах.

13. Назовите уровни относительной геометрической точности и соответствующие им степени точности формы цилиндрических поверхностей.

Практическая работа № 7
Определение параметров посадки подшипника в корпус
и посадки вала в подшипник

Цель работы. Ознакомиться с особенностями формирования посадок подшипников качения в корпус и на вал.

Теоретические предпосылки.

Подшипник — это конструктивный узел, предназначенный для подвижных соединений деталей и являющейся частью опоры или упора, которое поддерживает вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жёсткостью. Подшипники, являясь опорами для подвижных частей, определяют их положение в механизме и несут значительные нагрузки. Долговечность подшипников качения определяется величиной и характером нагрузки, точностью изготовления, правильной посадкой на вал и в отверстие корпуса, качеством монтажа. В зависимости от точности изготовления и сборки для различных типов подшипников установлены классы точности. Для шариковых радиальных и радиально упорных подшипников и для роликовых радиальных подшипников ГОСТ 520-2002 «Подшипники качения. Общие технические условия.» устанавливает следующие классы точности подшипников: 8, 7, N, 6, 5, 4, T, 2 (обозначения указаны в порядке возрастания точности). Для роликовых конических подшипников установлены классы точности 8, 7, 0, N, 6X, 6, 5, 4, 2. Для всех подшипников, кроме конических нормальный класс точности обозначают знаком 0. Для конических подшипников нулевой класс точности обозначают знаком 0, а нормальный — буквой N. Для обозначения класса точности 6X используют знак X.

Классы точности определяют допуски размеров, формы и взаимного положения элементов деталей подшипника качения (дорожек качения, тел качения и т.д.); допуски размеров и формы посадочных поверхностей наружного и внутреннего колец подшипника качения; допустимые значения параметров, характеризующих точность вращения подшипников. Дополнительные

технические требования к подшипникам качения устанавливаются тремя категориями: А, В, С.

Для посадок подшипников в корпус и на вал принят ряд рекомендованных. Посадки шариковых и роликовых радиальных и радиально-упорных подшипников (при осевой регулировке радиально-упорных колец подшипников) рекомендуются посадки, приведенные в табл. 7.1. При регулируемом наружном кольце с циркуляционным нагружением радиально-упорных подшипников рекомендуются посадки Js7/10 и Js7/16.

Таблица 7.1 (таблица дана в сокращении)

вид кольца	вид нагружения	рекомендуемые посадки
внутреннее кольцо, посадка на вал	циркулярное	L0 / n6, L0 / m6, L0 / k6, L0 / js6 L6 / n6, L6 / m6, L6 / k6, L6 / js6
	местное	L0 / js6, L0 / k6, L0 / g6, L0 / f6 L6 / js6, L6 / k6, L6 / g6, L6 / f6
	колебательное	L0 / js6, L6 / js6
наружное кольцо, посадка в корпус	циркулярное	N7 / 10, M7 / 10, K7 / 10, P7 / 10 N7 / 16, M7 / 16, K7 / 16, P7 / 16
	местное	H7 / 10, H7 / 16
	колебательное	Js7 / 10, Js7 / 16

Поля допусков для внутреннего и наружного колец подшипника качения расположены одинаково относительно нулевой линии, верхнее отклонение равно 0, нижнее – отрицательное (рисунок 7.1). Валы с полями допусков г6, p6, n6, m6, k6 при сопряжении с внутренним кольцом подшипника обеспечивают посадки с натягом. В табл. 7.2 приведены предельные отклонения отверстия внутреннего кольца, а в табл. 7.3 отклонения наружного кольца для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников.

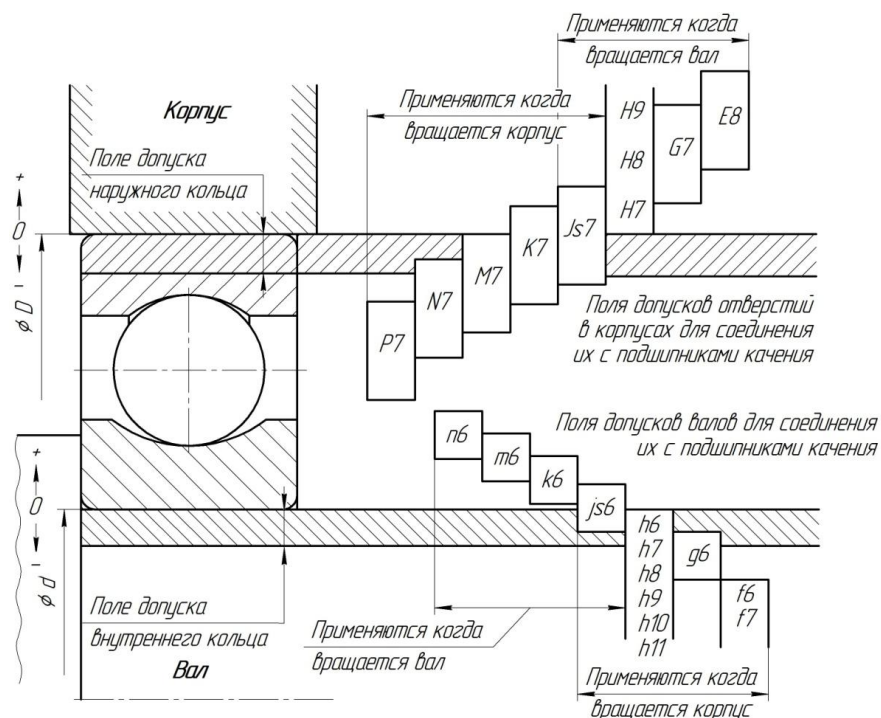


Рис. 7.1. Расположение полей допусков в соединениях «подшипник-вал», «подшипник-корпус»

Таблица 7.2 Предельные отклонения отверстия внутреннего кольца, мкм

Интервалы номинальных диаметров	Класс 0		Класс 6	
	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее
Св. 10 до 18	-8	0	-7	0
Св. 18 до 30	-10		-8	
Св. 30 до 50	-12		-10	
Св. 50 до 80	-15		-12	
Св. 80 до 120	-20		-15	
Св. 120 до 180	-25		-18	

Табл. 7.3. Предельные отклонения наружного кольца, мкм

Интервалы номинальных диаметров	Класс 0		Класс 6	
	нижнее	верхнее	нижнее	верхнее
Св. 18 до 30	-9	0	-8	0

Св. 30 до 50	-11		-9	
Св. 50 до 80	-13		-11	
Св. 80 до 120	-15		-13	
Св. 120 до 150	-18		-15	
Св. 150 до 180	-25		-18	
Св. 180 до 250	-30		-20-	

Допуски формы и расположения поверхностей деталей под подшипники качения. Взаимный перекос внутреннего и наружного колец подшипников вызывает появление дополнительного сопротивления вращению вала. Суммарный угол взаимного перекоса колец подшипника в общем случае состоит из ряда углов, вызванных отклонениями расположения базовых элементов деталей:

$$\theta_{\Sigma} = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5$$

где θ_{Σ} – суммарный допустимый угол взаимного перекоса колец подшипников качения, рекомендуемые значения угла, установленные ГОСТ 3325-85. θ_1 – угол, вызванный отклонением от соосности посадочной поверхности вала относительно общей оси; θ_2 – угол, вызванный отклонением от перпендикулярности базового торца вала или деталей, установленных на нем, относительно общей оси посадочных поверхностей вала; допустимые значения угла и соответствующие ему торцовые биения, установленные ГОСТ 3325-85; θ_3 – угол прогиба линии вала под действием нагрузки); значение угла рассчитывается по соответствующим формулам; θ_4 – угол, вызванный отклонением от соосности посадочной поверхности отверстия относительно общей оси отверстий; θ_5 – угол, вызванный отклонением от перпендикулярности базового торца корпуса относительно общей оси; допускаемые значения угла и соответствующие ему торцовые биения, установленные ГОСТ 3325-85.

Между углами перекоса колец подшипника и соответствующими предельными отклонениями у деталей существует определенная зависимость. Например, отклонения от соосности рассчитывают на основании геометрических построений. Связь между торцовыми биениями и вызываемыми ими углами

перекоса θ_2 и θ_5 более сложная, поэтому эти значения рассчитаны по рекомендациям. Связь между торцовыми биениями и вызываемыми ими углами перекоса представлена в таблице 7.4. Шероховатость посадочных поверхностей, сопрягаемых с кольцами подшипника деталей, зависит от диаметра и класса точности подшипника. Соответствующие значения параметров R_a для посадочных поверхностей валов, отверстий и торцов заплечиков валов и корпусов представлены в таблице 7.5.

Табл. 7.4. Связь между торцовыми биениями и вызываемыми ими углами перекоса

допуск номинальных диаметров валов d , мм	допуск торцевого биения, не более			
	класс точности подшипника			
	0		6	
	биение Δ_{Σ} , мкм	угол Θ_2	биение Δ_{Σ} , мкм	угол Θ_2
свыше 18 до 30	21	1.50'	13	1.10'
свыше 30 до 50	25		16	
свыше 50 до 80	30	0.75'	19	0.40'
свыше 80 до 120	35		22	
допуск номинальных диаметров отверстий d , мм	допуск торцевого биения, не более			
	класс точности подшипника			
	0		6	
	биение Δ_{Σ} , мкм	угол Θ_5	биение Δ_{Σ} , мкм	угол Θ_5
свыше 30 до 50	39	1.50'	25	1.10'
свыше 50 до 80	46		30	
свыше 80 до 120	54	1.10'	35	0.50'
свыше 120 до 180	63	0.90'	40	0.45'
свыше 180 до 250	72	0.85'	46	0.40'

Табл. 7.5. Параметры R_a посадочных поверхностей валов, отверстий и торцов заплечиков валов и корпусов

Посадочные поверхности	Классы точности подшипников	Номинальные диаметры	
		до 80 мм	80...500 мм
		Ra, мкм	
Валов	0	1,25	2,5
	6,5	0,63	1,25
	4	0,32	0,63
Отверстий корпусов	0	1,25	2,5
	6,5,4	0,63	1,25
Торцов заплечиков валов и корпусов	0	2,5	2,5
	6,5,4	1,25	2,5

Методика выполнения работы.

1. Получить задание у преподавателя.
2. Выберите из табл. 7.1 рекомендованную посадку подшипника на вал.
3. Рассчитайте и постройте схемы расположения полей допусков в посадке подшипника на вал (см. рис. 7.1), используя табл. 7.2 и 7.3.
4. Выберите из табл. 7.1 рекомендованную посадку подшипника в корпус.
5. Рассчитайте и постройте схемы расположения полей допусков в посадке подшипника в корпус (см. рис. 7.1).
6. Определите шероховатость посадочных поверхностей валов и отверстий в корпусе для установки подшипника и требования к торцевому биению.

Контрольные вопросы

1. Что такое подшипник?
2. Какие есть классы точности подшипников?
3. Перечислите допуски формы и расположения поверхностей деталей под подшипники качения.
4. Назовите рекомендованные посадки подшипника в корпус.
5. Назовите рекомендованные посадки подшипника на вал.

Практическая работа № 8

Анализ стабильности показателя качества изделия

Цель работы. Освоить методику анализа стабильности показателя качества изделия с определением основных количественных критериев (характеристик).

Последовательность выполнения работы.

Задание выдает преподаватель в виде таблицы, значения одного из показателей служебного назначения машины, полученных в результате эксплуатационных испытаний. В таблице указаны допустимые значения этого же показателя, определенные в техническом задании на проектирование машины. Например, испытанию подверглась литейная форма для получения отливок из черных и цветных сплавов литьем в металлическую форму. Класс размерной точности таких отливок – 6-й. Для размера отливки $A=210\text{мм}$ этому классу соответствует максимально возможное поле допуска $TA=0,9\text{мм}$. При симметричном расположении поля допуска относительно номинального значения размера, т.е. при $Es=0$, на отливке задан размер $A=210\pm0,45\text{ мм}$. При эксплуатационных испытаниях металлической формы были изготовлены 100 отливок, в них измерен полученный размер, и результаты измерений приведены в задании на практическую работу. Изложение методики выполнения работы будем сопровождать этим примером.

Таблица 8.1 Исходные данные (пример)

210,03	209,89	209,91	210,23	210,01	209,71	210,12	209,83	210,36	209,76	210
210,11	210,03	210,3	210,3	210,15	210,14	210,41	209,96	210,25	209,96	210
209,86	210,26	209,96	210,2	209,98	210,04	210,12	209,92	210,15	210,3	210,1
210,11	210,03	210,27	209,86	210,01	209,91	210,05	209,91	209,91	210,22	210,3
209,86	210,29	209,99	209,81	210,05	210,06	209,93	210,24	209,7	210,14	210
209,76	210,06	210,03	210,16	210,37	210,13	209,83	209,99	209,9	209,99	210,3
210	210,2	209,9	210,22	210,22	209,75	210,06	209,86	210,2	209,88	210,1
209,77	210,15	210,26	209,97	210,24	210,1	209,76	209,92	209,61	209,88	210,4

210,09	209,99	209,81	210,28	209,88	209,95	210,08	210,25	210,14	209,73	210
210,31										

Определение количественных характеристик стабильности показателя служебного назначения. Формулы для расчетов этих характеристик приведены в таблице 8.2. Для удобства расчетов лучше сначала заполнить таблицу 8.3, которая упрощают расчеты по формулам таблицы 8.2.

Таблица 8.2 Формулы для определения основных характеристик стабильности показателя A

№ п/п	Характеристика	Условное обозначение	Расчетная формула
1	Поле рассеяния показателя	ωA	$\omega = A_{\max} - A_{\min}$
2	Координата середины поля рассеяния	$EC\omega$	$EC\omega = \frac{A_{\max} + A_{\min}}{2} - A_0$
3	Среднее значение показателя	A_{cp}	$A_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k A_i m_i,$
4	Координата центра группирования	$M(x)$	$M(x) = A_{cp} - A_0$
5	Среднее квадратическое отклонение	σ_A	$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^k (A_i - A_{cp})^2 m_i \right\}}$
6	Коэффициент точности	K_T	$K_T = \frac{TA}{\omega A}$
	Коэффициент смещения поля рассеяния относительно поля допуска	E	$E = \frac{EcA - M(x)}{TA}$

Условные обозначения:

A_{\max}, A_{\min} - максимальное и минимальное значения показателя, полученные при контроле;

A_0 - номинальное значение показателя;

A_i - значение показателя в середине i -го интервала (см. табл.8.3)

k - количество интервалов, на которые разбит массив измерений;

m_i – количество значений показателя качества в i -ом интервале;

n – общее количество измеренных значений показателя;

TA – поле допуска показателя качества;

$EсА$ – координата середины поля допуска показателя качества.

Пример. Полученное поле рассеяния ωA разбивается на k одинаковых интервалов. Количество интервалов рекомендуется принимать от 10 до 15. Границы интервалов записываются в графу 3. Границу первого интервала нужно выбрать так, чтобы наименьшее измеренное значение показателя оказалось в середине этого интервала. В примере было принято 10 интервалов с ценой интервала 0,08 мм. За счет того, что граница первого интервала сдвинута в сторону уменьшения на половину интервала интервалов, заполненных измеренными значениями размера, оказалось 11. Затем все значения показателя из таблицы исходных данных распределяются по интервалам, используя условное обозначение каждого значения в соответствующем интервале черточкой в графе 4. Определяют количество значений в каждом интервале m_i , подсчитывая количество черточек в соответствующей строке графы 4 и записывая в графу 5. В результате колонки 1,2,5 табл. 8.3 образуют табличное представление распределения значений исследуемого показателя.

Таблица 8.3 Расчетная таблица

№ п/п	Границы интервалов	Середина интервала A_i	Количес- тво значений в интервале	Кол-во значений в интерва- ле m_i	$A_i \times m_i$	$A_i -$ A_{cp}	$(A_i - A_{cp})^2$ $\times m_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	209,57-209,65	209,61	/	1	209,61	-0,44	0,1936
2	209,65-209,73	209,69	//	2	419,38	-0,36	0,2592
3	209,73-209,81	209,77	//////	6	1258,62	-0,28	0,4704
4	209,81-209,89	209,85	//////////	11	2308,35	-0,20	0,44
5	209,89-209,97	209,93	//////////	14	2939,02	-0,12	0,2016

6	209,97-210,05	210,01	//////////	18	3780,18	-0,04	0,0288
7	210,05-210,13	210,09	//////////	14	2941,26	0,04	0,0224
8	210,13- 210,21	210,17	//////////	11	2311,87	0,12	0,1584
9	210,21-210,29	210,25	//////////	12	3523	0,2	0,48
10	210,29-210,37	210,33	////////	8	1682,64	0,28	0,6272
11	210,37-210,45	210,41	///	3	631,23	0,36	0,3888
Итого				100	21005,16		3,2704

По результатам эксплуатационных испытаний одного из показателей служебного назначения машины A (или результата технологического процесса) рассчитываем характеристики его рассеяния:

- поле рассеяния ωA и координату его середины $EC\omega$;

$$\omega = A_{\max} - A_{\min} = 210,41 - 209,61 = 0,8 \text{ мм}$$

$$EC\omega = 0,5(A_{\max} + A_{\min}) - A_0 = 0,5 \times 420,02 - 210 = +0,02 \text{ мм}$$

- среднее значение показателя A_{cp} ;

$$A_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k A_i m_i = 2100516 : 100 = 210,05 \text{ мм}$$

- координату центра группирования $M(x)$;

$$M(x) = A_{cp} - A_0 = 210,05 - 210 = +0,05 \text{ мм}$$

- среднее квадратическое отклонение σ ;

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^k (A_i - A_{cp})^2 m_i \right\}} = \sqrt{\frac{3,2704}{100}} = 0,18 \text{ мм}$$

- коэффициент точности

$$K_T = \frac{TA}{\omega A} = \frac{0,9}{1,08} = 0,83$$

- коэффициент смещения поля рассеяния относительно поля допуска

$$E = \frac{E_{сА} - M(x)}{T_A} = \frac{0 - (+0,05)}{0,9} = -0,055$$

Построение полигона распределения.

Полигон распределения – это графическая форма представления распределения. Полигон распределения строится в координатах «значение показателя в середине интервала – частота в интервале m_i ». Данные для построения полигона – в таблице 8.3 колонки 3 и 5. Значения показателя в середине интервалов откладывают по оси абсцисс, масштаб следует выбрать таким, чтобы на оси можно было показать поле допуска показателя и полученное поле рассеяния. Частоту m_i (количество) в интервале откладывают по оси ординат, масштаб выбирают, ориентируясь на наибольшее значение m_i . Соединив полученные точки отрезками, получают ломаную линию, которая и представляет собой полигон распределения.

На графике следует показать следующее:

- номинальное значение показателя A_0 ,
- заданное поля допуска показателя и координату его середины $E_{сА}$,
- полученное поле рассеяния показателя и координату его середины $E_{с\omega}$,
- рассчитанное среднее значение показателя $A_{ср}$ (центр группирования) и координату его середины $M(x)$.

Пример полигона распределения приведен на рис. 8.1.

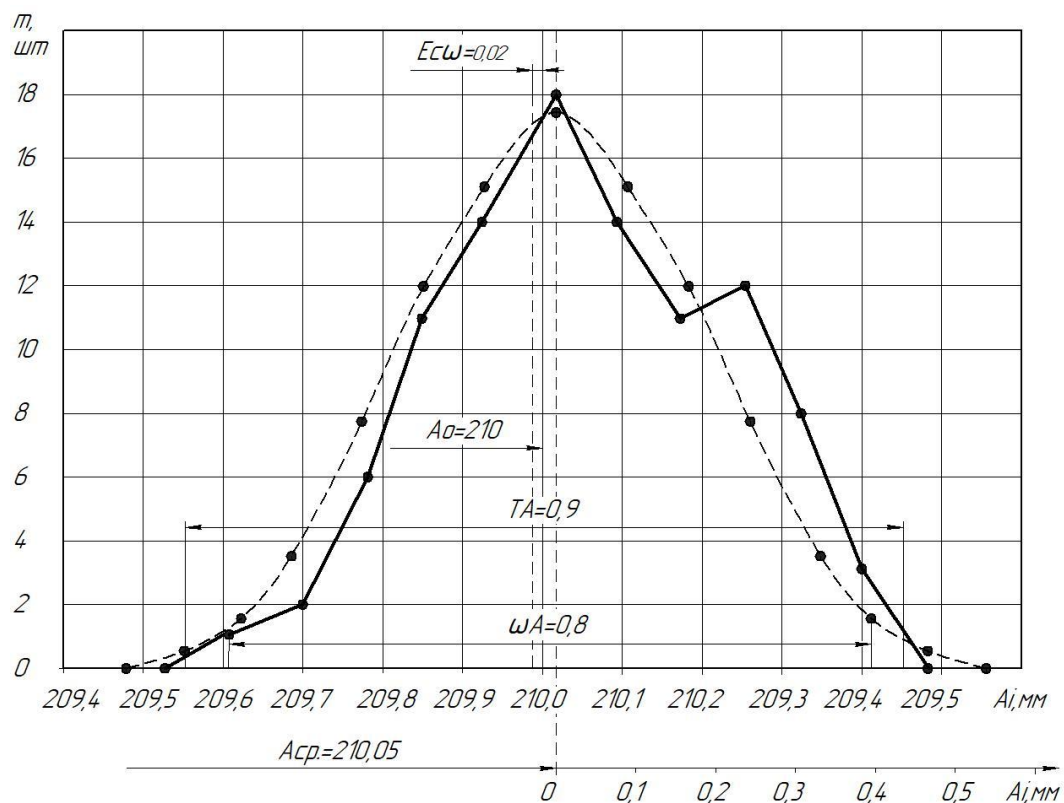


Рис. 8.1. Графическое представление распределения показателя качества (пример)

4. Функциональное представление распределения показателя.

Такое представление обеспечивается законом распределения, который функционально описывает частоту (вероятность) в зависимости от текущего значения показателя. Наиболее часто в технологии машиностроения для описания рассеяния используется закон нормального распределения (закон Гаусса):

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - x_{ср})^2}{2\sigma^2}} \quad (8.1)$$

Для того чтобы оценить в первом приближении насколько адекватно исследуемое рассеяние показателя может быть описано законом нормального распределения, достаточно наложить на полигон распределения соответствующую кривую Гаусса. Чтобы построить эту кривую нужно рассчитать ряд ординат для разных значений показателя, в нашем примере — для разных значений размера \$A\$ внутри поля рассеяния. Это можно сделать по

уравнению (8.1), задавая разные значения аргумента $X_i = A_i$. При наличии компьютера и соответствующего программного обеспечения такая задача решается достаточно быстро и просто. Возможен и ручной расчет этих ординат. Методика основана на том, что функция (8.1) табулирована для $\sigma=1$ (в табл. 1.4). Для того чтобы определить ординату кривой при любом значении σ , нужно табличное значение ординаты умножить на переводной коэффициент, учитывающий еще и масштаб (количество исследуемых значений), в нашем примере – $n = 100$:

$$k = \frac{h}{\sigma} n = \frac{0,08}{0,18} \times 100 = 44,4$$

Таблица 1.4 Значения ординат кривой Гаусса при $\sigma = 1$; $y = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}}$

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.3989	0.3989	0.3989	0.3988	0.3986	0.3984	0.3982	0.3980	0.3977	0.3973
0.1	0.3970	0.3965	0.3961	0.3956	0.3951	0.3945	0.3939	0.3932	0.3925	0.3918
0.2	0.3910	0.3902	0.3894	0.3885	0.3876	0.3867	0.3857	0.3847	0.3836	0.3825
0.3	0.3814	0.3802	0.3790	0.3778	0.3765	0.3752	0.3739	0.3725	0.3712	0.3697
0.4	0.3683	0.3668	0.3653	0.3637	0.3625	0.3605	0.3589	0.3572	0.3555	0.3538
0.5	0.3521	0.3503	0.3485	0.3467	0.3448	0.3429	0.3410	0.3391	0.3372	0.3352
0.6	0.3332	0.3312	0.3292	0.3271	0.3251	0.3230	0.3209	0.3187	0.3166	0.3144
0.7	0.3123	0.3101	0.3079	0.3056	0.3034	0.3011	0.2989	0.2966	0.2943	0.2920
0.8	0.2897	0.2874	0.2850	0.2827	0.2803	0.2780	0.2756	0.2732	0.2709	0.2685
0.9	0.2661	0.2637	0.2613	0.2589	0.2565	0.2541	0.2516	0.2492	0.2468	0.2444
1.0	0.2420	0.2396	0.2371	0.2347	0.2323	0.2299	0.2275	0.2251	0.2227	0.2203
1.1	0.2179	0.2155	0.2131	0.2107	0.2083	0.2059	0.2036	0.2012	0.1989	0.1965
1.2	0.1942	0.1919	0.1895	0.1872	0.1849	0.1826	0.1804	0.1781	0.1758	0.1736
1.3	0.1714	0.1691	0.1669	0.1647	0.1626	0.1604	0.1582	0.1561	0.1539	0.1518
1.4	0.1497	0.1476	0.1456	0.1435	0.1415	0.1394	0.1374	0.1354	0.1334	0.1315
1.5	0.1295	0.1276	0.1257	0.1238	0.1219	0.1200	0.1182	0.1163	0.1145	0.1127
1.6	0.1109	0.1092	0.1074	0.1057	0.1040	0.1023	0.1006	0.0983	0.0973	0.0957
1.7	0.0940	0.0925	0.0909	0.0893	0.0878	0.0863	0.0848	0.0833	0.0818	0.0804
1.8	0.0790	0.0775	0.0761	0.0748	0.0734	0.0721	0.0707	0.0694	0.0681	0.0669

Так как кривая Гаусса симметрична относительно центра группирования (среднего размера), для построения за начало координат примем центр группирования и от него в обе стороны на рис. 8.1 отложим ряд точек, расположенных друг относительно друга на расстоянии принятого интервала. Таких точек должно быть столько, чтобы на оси абсцисс до последней точки было расстояние не менее половины рассчитанного поля рассеяния. В нашем примере цена интервала – 0,08 мм, таких точек 8 в каждую сторону. Расстояние каждой из точек x'_i от начала координат выразим через отношение $z_i = \frac{x'_i}{\sigma}$ и по таблице 8.4 найдем ординаты кривой в этих точках при $\sigma=1$, а затем умножим их на переводной коэффициент. Для удобства эти расчеты сведем в таблицу 8.5. По значениям колонок 1 и 4 таблицы 8.5 на рис. 8.1 строим график функции закона нормального распределения. Сравнение построенной кривой Гаусса с полигоном распределения позволяет заключить, что фактическое распределение близко к закону нормального распределения.

Таблица 8.5 Вычисление параметров для теоретической кривой

x'_i	$z_i = \frac{x'_i}{\sigma}$	$y_{табл.i}$	y'_i
$x'_1 = 0$	0	0,3989	17,7
$x'_2 = 0,08$	0,444	0,3615	15,05
$x'_3 = 0,16$	0,888	0,2695	11,96
$x'_4 = 0,24$	1,332	0,1667	7,4
$x'_5 = 0,32$	1,776	0,0840	3,73
$x'_6 = 0,40$	2,22	0,0347	1,55
$x'_7 = 0,48$	2,664	0,0115	0,5
$x'_8 = 0,56$	3,111	0,0002	0,01

5. Определение процента значений показателя за пределами допуска.

Вероятный процент брака определяется по табл. 8.6 по значениям коэффициентов точности K_T и смещения E . В примере по значениям коэффициентов точности $K_T = 0,83$ и смещения $E = -0,055$ методом интерполирования находим вероятный процент брака - 1,5%.

Таблица 8.6. Определение процента вероятного брака

T _n	Абсолютные значения коэффициента смещения E или E _p														
	0	0.02	0.05	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.10	76.4	76.4	76.4	76.4	76.5	76.5	76.5	76.5	76.6	76.7	76.8	76.9	77.1	77.2	77.4
0.15	65.3	65.3	65.3	65.4	65.4	65.5	65.6	65.7	65.8	66.1	66.4	66.8	67.3	67.8	68.4
0.20	54.8	54.9	54.9	55.0	55.0	55.3	55.5	55.8	56.0	56.6	57.4	58.2	59.2	60.3	61.5
0.25	45.3	45.3	45.4	45.6	45.8	46.0	46.5	47.0	47.3	48.4	49.7	51.2	52.9	54.7	56.7
0.30	36.8	36.8	37.0	37.3	37.6	37.9	38.5	39.2	39.8	41.5	43.4	45.7	48.1	50.8	53.6
0.35	29.4	29.4	29.6	30.1	30.4	30.9	31.7	32.8	33.5	35.8	38.4	41.4	44.6	48.1	51.8
0.40	23.0	23.1	23.4	23.9	24.3	24.9	26.0	27.3	28.2	31.0	34.3	38.0	42.1	46.4	50.8
0.42	20.8	20.8	21.1	21.7	22.2	22.8	24.0	25.3	26.4	29.4	32.9	36.9	41.2	45.8	50.6
0.45	17.7	17.7	18.1	18.7	19.3	19.9	21.2	22.7	23.8	27.1	31.0	35.4	40.1	45.1	50.4
0.48	15.0	15.1	15.4	16.1	16.7	17.4	18.7	20.4	21.6	25.1	29.3	34.0	39.2	44.6	50.2
0.50	13.4	13.4	13.8	14.5	15.1	15.8	17.2	18.9	20.2	23.9	28.2	33.2	38.6	44.3	50.1
0.55	9.89	10.0	10.4	11.1	11.7	12.6	14.0	15.8	17.2	21.1	25.9	31.3	37.2	43.5	50.1
0.60	7.19	7.26	7.65	8.37	9.03	9.84	11.3	13.2	14.6	18.8	23.9	29.6	36.0	42.9	50.1
0.65	5.12	5.19	5.56	6.25	6.90	7.69	9.17	11.0	12.4	16.7	21.9	28.0	34.9	42.3	50.0
0.70	3.57	3.64	3.98	4.63	5.24	5.98	7.40	9.16	10.5	14.8	20.1	26.4	33.7	41.7	50.0
0.75	2.44	2.50	2.89	3.40	3.94	4.62	5.94	7.61	8.94	13.1	18.4	25.0	32.6	41.1	50.0
0.80	1.64	1.69	1.95	2.46	2.94	3.55	4.75	6.29	7.53	11.5	16.8	23.6	31.5	40.5	50.0
0.85	1.08	1.12	1.34	1.76	2.19	2.71	3.76	5.17	6.32	10.1	15.4	22.2	30.5	39.9	50.0
0.90	0.69	0.72	0.90	1.26	1.60	2.05	2.96	4.21	5.27	8.85	14.1	20.9	29.5	39.4	50.0
0.95	0.44	0.46	0.60	0.80	1.16	1.51	2.31	3.42	4.36	7.71	12.7	19.6	28.4	38.8	50.0

6. Обсуждение результатов и формулирование выводов.

Достигнутая стабильность показателя служебного назначения оценивается полем рассеяния, полученным в ходе эксплуатационных испытаний. Требуемая стабильность задана полем допуска этого показателя. Сравнение этих величин

через коэффициент точности позволяет судить, во-первых, о степени достижения требуемой стабильности и возможности сертификации машины по этому показателю или же необходимости анализа возможных причин недостаточной стабильности и их источников. Необходимо адресовать вопросы к участникам процесса создания машины – конструкторам, технологам, а возможно, и к метрологам.

Для оценки степени достижения требуемой стабильности можно руководствоваться следующими рекомендациями:

- при $K_T > 1,3$ достигнутая стабильность показателя считается удовлетворительной;
- при $K_T = 1 \div 1,3$ достигнутая стабильность показателя требует внимательного наблюдения, так как запас точности недостаточен и со временем могут появиться изделия за пределами допуска;
- при $K_T < 1$ – достигнутая стабильность показателя считается неудовлетворительной.

В случаях появления машин, значения показателя служебного назначения которых выходят за пределы допуска, следует высказать предложения о возможных действиях разных участников процесса создания машины для устранения причин появления таких машин. В примере в изготовленной партии отливок бракованных не оказалось, но опасность их появления при эксплуатации сохраняется, о чем свидетельствует низкий коэффициент точности $K_T = 0,83$ и вызванный этой причиной теоретически возможный (вероятный) процент брака $B \approx 1,5\%$. Превышающее заданный допуск поле рассеяния скорее всего вызвано особенностями технологического процесса литья. Следует проанализировать технологию и если стабильность процесса повысить невозможно, сертифицировать литейную форму для получения отливок 7 класса размерной точности.

Контрольные вопросы.

1. Что такое поле рассеяния и координата его середины, что они характеризуют?

2. Как определяют среднее значение (центр группирования) A_{cp} и среднее квадратическое отклонение σ ?
3. В каком виде можно представить распределение показателя качества машины?
4. Какими показателями можно оценить степень достижения стабильности показателя служебного назначения машины?
5. Что характеризует коэффициент точности K_T ?
6. Какой коэффициент характеризует количественную оценку действия систематических погрешностей?
7. Обоснуйте оценку достигнутой стабильности показателя качества машины в результате проведенной работы.

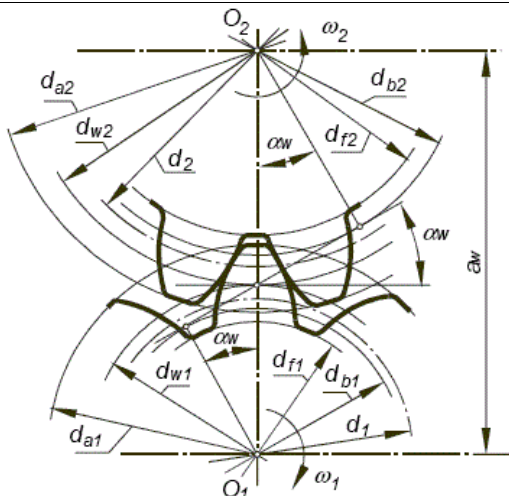
Практическая работа № 9

Анализ конструкции и нормирование точности цилиндрических зубчатых передач

Теоретические предпосылки.

Геометрические параметры цилиндрических зубчатых передач внешнего зацепления. Все геометрические параметры подразделяются на исходные т.е. параметры, которые выбираются конструктором; основные параметры, которые рассчитываются на основании исходных параметров и контрольные параметры - дополнительные параметры необходимые для контроля качества изготовления зубчатых колес.

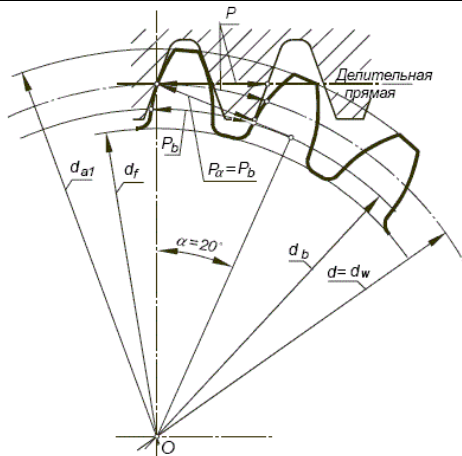
Таблица 9.1 Исходные параметры цилиндрических зубчатых передач (приводится в сокращении)

			
№	наименование параметра	обозначение	числовое значение
1	угол главного профиля	α	20°
2	высота головки зуба	h_a	$h_a = h_a^* m$
3	коэффициент высоты головки	h_a^*	1
4	высота ножки зуба	h_f	$h_f = h_f^* m$
5	коэффициент высоты ножки	h_f^*	1.25

6	радиус кривизны переходной кривой	p_f	$p_f = p_f^* \cdot m$
7	коэффициент радиуса кривизны переходной кривой	p_f^*	0.38
8	радиальный зазор в паре исходных контуров	c	$c = c^* \cdot m$
9	коэффициент радиального зазора	c^*	0.25
10	делительное межосевое расстояние	a	$a = (z_1 + z_2) \cdot m / (2 \cos \beta)$
11	коэффициент смещения	x_Σ	$x_\Sigma = x_1 + x_2$ $x_\Sigma = 0 + 0 = 0$
12	угол профиля	α_t	$\operatorname{tg} \alpha_t = \operatorname{tg} \alpha / \cos \beta$
13	угол зацепления	α_{tw}	$\alpha_{tw} = \operatorname{inv} \alpha_{tw} = 2x_\Sigma \operatorname{tg} \alpha / z_1 + z_2$
14	межосевое расстояние	a_w	$a_w = m(z_1 + z_2) \cos \alpha_t / 2 \cos \beta \cdot \cos \alpha_{tw}$
15	делительный диаметр шестерни	d_1	$d_1 = z_1 \cdot m / \cos \beta$
16	делительный диаметр колеса	d_2	$d_2 = z_2 \cdot m / \cos \beta$
17	передаточное число	u	$u = z_2 / z_1$
18	начальный диаметр шестерни	d_{w1}	$d_{w1} = 2a_w / (u + 1)$
19	начальный диаметр колеса	d_{w2}	$d_{w2} = 2a_w \cdot u / (u + 1)$
20	коэффициент воспринимаемого смещения	y	$y = (a_w - a) / m$
21	коэффициент уравнительного смещения	Δy	$\Delta y = x_\Sigma - y$
22	диаметр вершин зубьев	d_{a1}	$d_{a1} = d_1 + 2m (h_a^* + x_1 - \Delta y)$

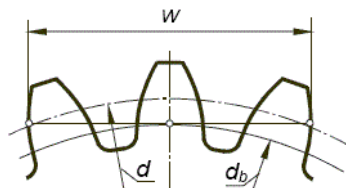
	шестерни		
23	диаметр вершин зубьев колеса	d_{a2}	$d_{a2} = d_2 + 2m (h_a^* + x_1 - \Delta y)$
24	диаметр впадин шестерни	d_{f1}	$d_{f1} = d_1 + 2m (h_a^* + c^* - x_1)$
25	диаметр впадин колеса	d_{f2}	$d_{f2} = d_2 + 2m (h_a^* + c^* - x_2)$
26	основной диаметр шестерни	d_{b1}	$d_{b1} = d_1 \cos \alpha_t$
27	основной диаметр колеса	d_{b2}	$d_{b2} = d_2 \cos \alpha_t$

*расчет размеров для контроля взаимного положения одноименных профилей
зубьев*



№	наименование параметра	обозначение	числовое значение
28	шаг зацепления	$P\alpha$	$P\alpha = P_b = \cos \alpha = \pi m \cos \alpha$

расчет длины общей нормали



№	наименование параметра	обозначение	числовое значение
29	угол профиля в точке на окружности диаметра	α_x	$\cos \alpha_x = z \cos \alpha_t / z + 2x \cos \beta$
30	основной угол наклона зубьев	β_b	$\sin \beta_b = \sin \beta * \cos \alpha$
31	расчетное число зубьев в длине общей нормали	Z_n	$Z_{nr1} = Z / \pi (\operatorname{tg} \alpha_x / \cos^2 \beta_b - 2x \operatorname{tg} \alpha / z - \operatorname{inv} \alpha_t) + 0.5$

32	длина общей нормали расстояние между зубьев общая нормаль является касательной к окружности d_b	W	$W = m \cos \alpha (\pi (Z_n - 0.5) + 2x \operatorname{tg} \alpha + z \operatorname{inv} a_t)$
----	---	-----	--

Система допусков цилиндрических зубчатых передач

Система допусков и посадок зубчатых колес, исходя из требований эксплуатации передач, устанавливает следующие нормы точности:

- кинематическую норму точности зубчатых колес и передач;
- норму плавности работы зубчатых колес и передач;
- норму контакта зубьев зубчатых колес и передач.

Каждая норма имеет 12 степеней точности. Указанные три вида норм точности могут как в зубчатом колесе, так и в передаче взаимно комбинироваться и назначаться из разных степеней точности. В силу того, что ряд показателей точности, относящихся к различным нормам, геометрически связаны, существует ограничение при комбинировании норм с разными степенями точности.

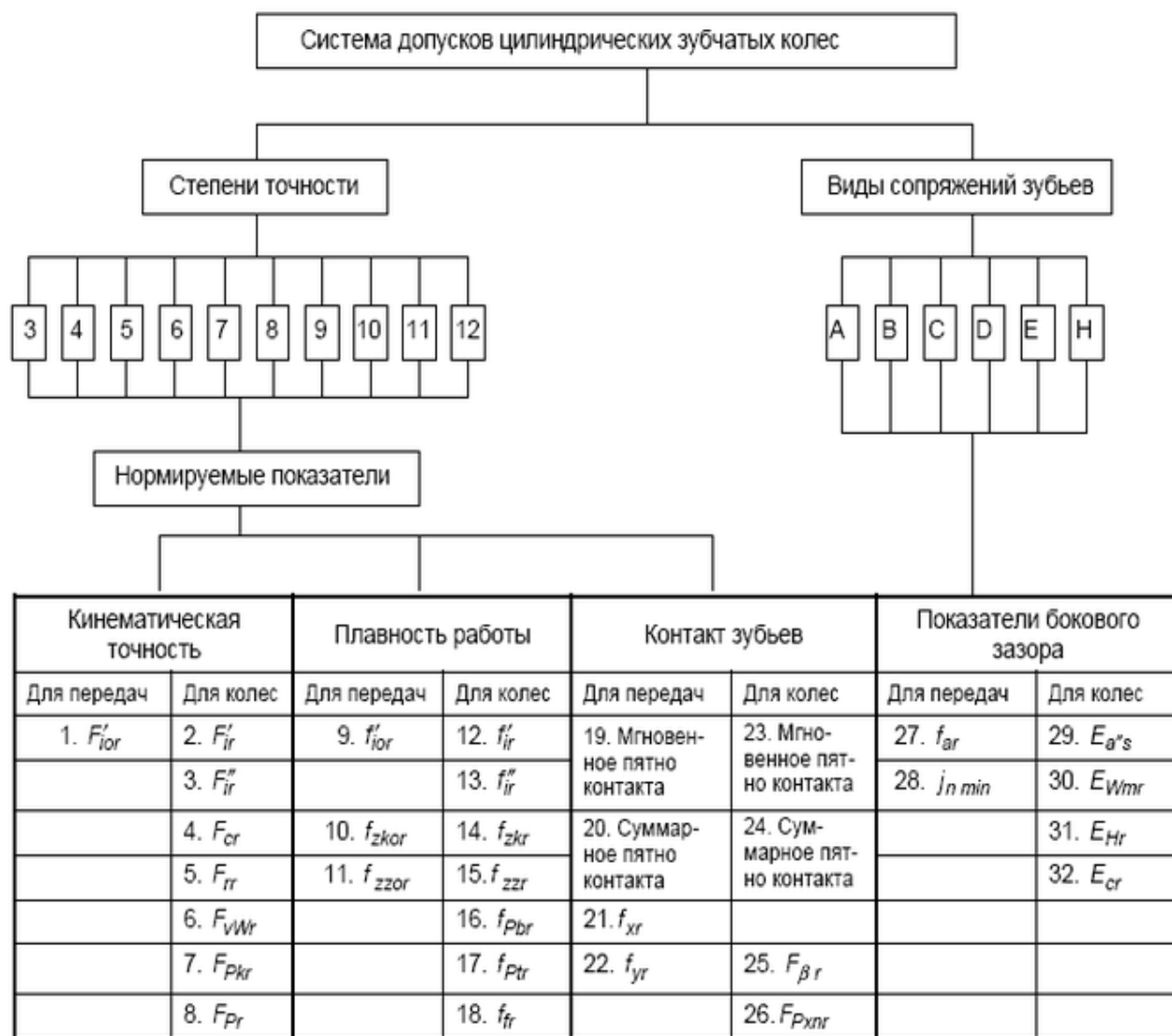


Рис. 9.1. Система допусков цилиндрических зубчатых колес

При комбинировании норм разной степени точности, нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности; нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням более точным, чем нормы плавности, или на одну степень грубее норм плавности. Для устранения возможности заклинивания передачи при нагреве и обеспечения нормальных условий смазки передачи должны иметь гарантированный боковой зазор $j_{n\min}$.

Установлено шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче A, B, C, D, E, H и восемь видов допуска **T** на боковой зазор j_n : x, y, z, a, b, c, d, h. Обозначения даны в порядке убывания величины бокового зазора и допуска на него. Соответствие между видом сопряжения зубчатых колес в передаче и видом

допуска на боковой зазор допускается изменять, при этом также могут быть использованы виды допусков **x**, **y**, **z**.

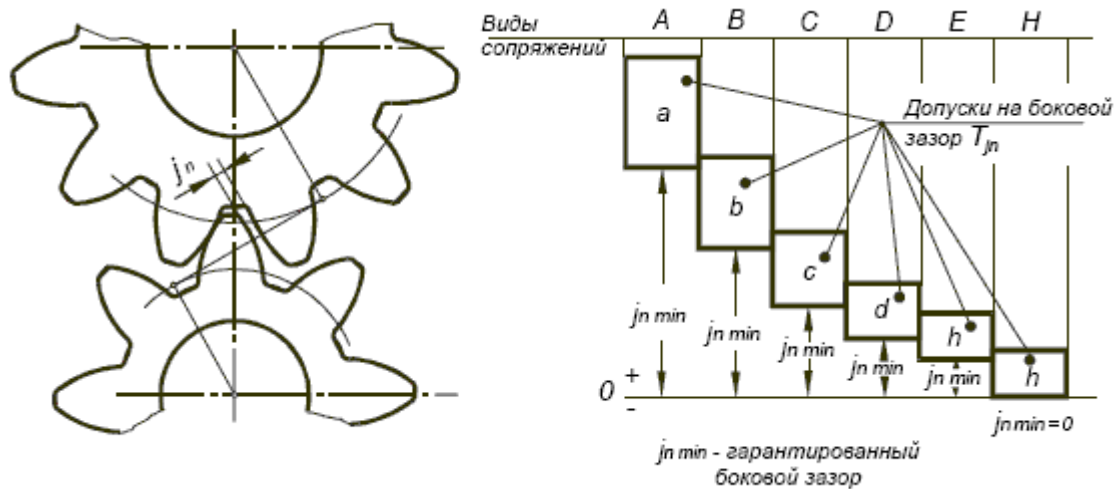


Рис. 9.2.

Термины, обозначения и определения по ГОСТ 1643-81

Показатели кинематической точности зубчатых колес и передач.

1. Допуск на кинематическую погрешность передачи **Fi'o**.
2. Допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса **Fi'**.
3. Допуск на колебание измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса **Fi''**.

4. Допуск на погрешность обката **Fc**.
5. Допуск на радиальное биение зубчатого венца **Fr**.
6. Допуск на колебание длины общей нормали **FvW**.
7. Допуск на накопленную погрешность **k** шагов **FPk**.
8. Допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса **FP**.

Показатели плавности работы зубчатых колес и передач

9. Допуск на местную кинематическую погрешность передачи **fi'o**.
10. Допуск на циклическую погрешность передачи **fzko**.
11. Допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты в передаче **fzzo**.
12. Допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса **fi'**.

13. Допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе **fi''**.

14. Допуск на циклическую погрешность зубчатого колеса **fzk**.

15. Допуск на циклическую погрешность зубцовой частоты зубчатого колеса **fzz**.

16. Предельные отклонения шага: верхнее **+fPt**, нижнее **-fPt**.

17. Предельные отклонения шага: верхнее **+fPb**, нижнее **-fPb**.

18. Допуск на погрешность профиля зуба **ff**.

Показатели контакта зубьев

19. Допуск параллельности осей **fx**.

20. Допуск на перекося осей **fy**.

21. Допуск на направление зуба **Fβ**.

22. Предельные отклонения осевых шагов по нормали: верхнее **+FPxn**, нижнее **-FPxn**.

Показатели бокового зазора

27. Отклонение межосевого расстояния **far**. Предельные отклонения межосевого расстояния: верхнее **+fa**, нижнее **-fa**.

28. Допуск на боковой зазор **Tjn**.

29. Предельные отклонения измерительного межосевого расстояния для колес с внешним зацеплением: верхнее **+Ea''s**, нижнее **-Ea''i**. Для зубчатых колес с внутренним зацеплением: верхнее **-Ea''s**, нижнее **+Ea''i**.

30. Допуск на среднюю длину общей нормали **TWm**.

31. Наименьшее дополнительное смещение исходного контура: для зубчатого колеса с внешними зубьями **-Ehs**; для зубчатого колеса с внутренними зубьями **+ENi**. Допуск на дополнительное смещение исходного контура **TH**.

32. Допуск на толщину зуба **Tc**.

Методика выполнения работы.

1. Выпишите задание из таблицы 9.2 в соответствии со своим вариантом.

2. Опишите параметры заданные для определения: Fi' , Fr , F_{vw} , Fi'' , fi' , f_{pb} , f_i , fi'' , F_{β} , j_n , min , fa , E_{Hs} , E_{Wm} , T_{Wm} , $Ea''s$, $Ea''i$.

3. Пользуясь таблицами ГОСТов, определите заданные параметры зубчатых колес и зацепления в соответствии с исходными данными.

Таблица 9.2 Пример задания для выполнения работы (прямозубая передача)

Наименование параметра	Обозначение	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Модуль	m	1	2	3
Число зубьев шестерни и колеса	z	18 32	20 36	24 30
Межосевое расстояние и ширина венца	a_W и b_W	$a_W=25$ мм; $b_W=6$ мм	$a_W=56$ мм; $b_W=10$ мм	$a_W=81$ мм; $b_W=16$ мм
Степень точности и вид сопряжения	-	8B	9C	10A

Пример выполнения работы

Таблица 9.3 Назначение норм точности на цилиндрическую зубчатую передачу в соответствии с ГОСТ1643-81

Наименование параметра		Обозна- чение	Пример 1		Пример 2		Пример 3	
Исходные данные	Прямозубое зубчатое колесо							
	Модуль	m	5					
	Число зубьев шестерни и колеса	z	20	40	20	40	20	40
	Межосевое расстояние и ширина венца	a_W и b_W	$a_W=150$ мм; $b_W=60$ мм					
	Степень точности и вид сопряжения	-	8B		8-7-6-B		8-7-6-B	
Нормы кинематичес- кой точности	Допуск на кинематическую погрешность зубчатого колеса	Fi'	83	112	-	-	-	-
	Допуск на радиальное биение зубчатого венца	Fr	-	-	50	71	-	-
	Допуск на колебание длины общей нормали	FvW	-	-	28	50	28	50
	Допуск на колебание измерительного межосевого	Fi''	-	-	-	-	71	100

	расстояния							
Нормы плавности работы	Допуск на местную кинематическую погрешность	f_i'	45	50	-	-	-	-
	Предельное отклонение шага зацепления	f_{pb}	-	-	± 17	± 19	-	-
Нормы плавности работы	Допуск на погрешность профиля зуба	f_f	-	-	14	16	-	-
	Допуск на колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f_i''	-	-	-	-	25	28
Нормы контакта	Допуск на погрешность направления зуба	F_β	25	25	12	12	-	-
	Суммарное пятно контакта	-	-	-	-	-	По высоте 50%; длине 70%	
Нормы бокового зазора	Гарантированный боковой зазор	$j_n \min$	160					
	Предельное отклонение межосевого расстояния	f_a	± 80					
	Наименьшее дополнительное смещение исходного контура	E_{Hs}	- 160	- 220	-	-	-	-
По нормам бокового зазора	Допуск на смещение исходного контура	T_H	140	200	-	-	-	-
	Наименьшее отклонение средней длины общей нормали	EW_m	-	-	- 121	- 158	-	-
	Допуск на среднюю длину общей нормали	TW_m	-	-	70	100	-	-
	Верхнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния	Ea''_s	-	-	-	-	+25	+28
	Нижнее предельное отклонение измерительного межосевого расстояния	Ea''_i	-	-	-	-	- 180	-250

Практическая работа № 10

Построение модели микропрофиля обработанной поверхности по профилограмме

Теоретические предпосылки

Шероховатость поверхности — совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности. Шероховатость поверхности после механической обработки — это геометрический след режущего или деформирующего инструмента (металлического или абразивного), движущегося в соответствии с установленным режимом резания, искаженный в результате пластической и упругой деформации и сопутствующей процессу резания вибрацией технологической системы станок—приспособление—инструмент—деталь.

В стандарт на шероховатость поверхности ГОСТ2789-73 вошли следующие характеристики шероховатости:

- *высотные*: R_a -среднее арифметическое отклонение профиля; R_z -высота неровностей профиля по десяти точкам; R_{max} -наибольшая высота неровностей профиля;
- *шаговые*: S -средний шаг неровностей по вершинам локальных выступов; S_m - средний шаг неровностей; t_p -относительная опорная длина профиля, где p - уровень сечения профиля.

В основу количественной оценки характеристик шероховатости принята система отсчета, в которой в качестве базовой линии служит средняя линия профиля. Профиль поверхности со средней линией и другими параметрами в соответствии с ГОСТ 2789–73 приведен на рис. 10.1.

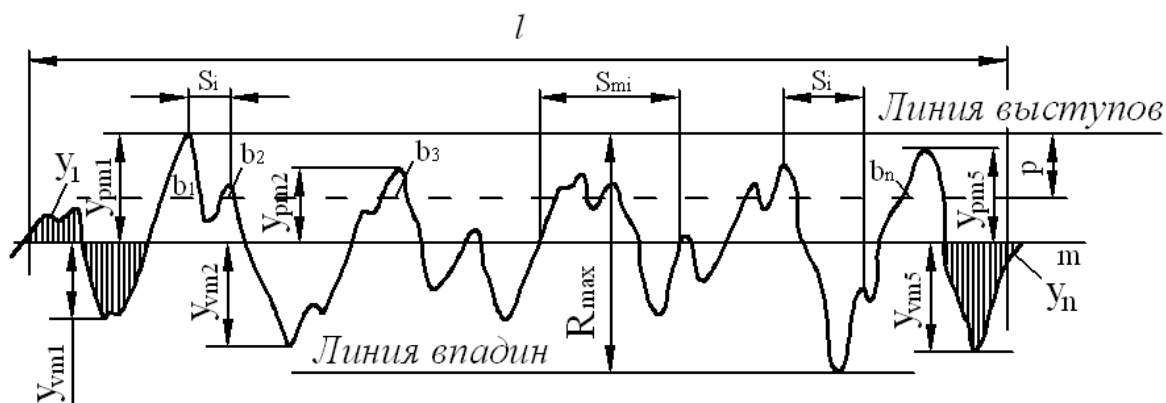


Рис. 10.1. Профиль поверхности и его характеристика

Средняя линия профиля – это базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины l среднее квадратическое отклонение точек профиля от этой линии минимально. Линия, эквидистантная средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины, называется *линией выступов профиля*. Линия, эквидистантная средней линии и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины, называется *линией впадин профиля*. Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины представляет собой *наибольшую высоту неровностей профиля* R_{max} .

Высота выступов профиля – это расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа профиля. *Глубина впадины профиля* y_{vm} – это расстояние от средней линии профиля до низшей точки впадины профиля. *Неровность профиля* – это выступ профиля и сопряженная с ним впадина профиля.

Шаг неровностей профиля – это длина отрезка средней линии профиля S_{mi} , содержащая выступ профиля и сопряженную с ним впадину профиля. *Средний шаг неровностей профиля* S_m – это среднее значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины. *Шаг местных выступов* S_i – это длина отрезка средней линии между проекциями на нее двух наивысших точек соседних местных выступов профиля. *Средний шаг местных выступов профиля* S – это среднее значение шага местных выступов в пределах базовой длины.

Для оценки шероховатости поверхности в машиностроении наибольшее распространение получили два высотных критерия R_z и R_a .

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z представляет собой сумму средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины профиля l :

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5},$$

где y_{pmi} – высота i -го наибольшего выступа профиля, y_{vmi} – глубина i -ой наибольшей впадины профиля.

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a представляет собой среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

Или приближенно

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

где y – отклонение профиля, определяемое расстоянием между любой точкой профиля и средней линией, l – базовая длина, n – число выбранных точек на базовой длине.

Многие эксплуатационные свойства поверхности зависят от фактической поверхности соприкосновения с сопряженными деталями, например контактная жесткость. Для приближенной оценки возможной поверхности контакта используется критерий η_p – *опорная длина профиля*, который определяется суммой длин отрезков в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии. Для сопоставления опорных возможностей разных поверхностей, имеющих в том числе и одинаковые высотные характеристики неровностей профиля, пользуются критерием *относительной опорной длины профиля* t_p , который определяется отношением опорной длины профиля к базовой длине.

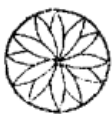
$$t_p = \frac{\eta_p}{l} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i$$

где b_i – длина отрезка, отсекаемого в материале выступа профиля, p – уровень сечения профиля, определяемый расстоянием между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля, выраженным в процентах от R_{max} .

Большое значение для поверхностей, работающих в условиях трения скольжения имеет направление неровностей. Типы направлений неровности в соответствии с ГОСТ 2789-73 представлены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 Типы направлений неровностей поверхности

Типы направлений неровностей	Схематическое изображение	Пояснение
Параллельное		Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Перпендикулярное		Перпендикулярно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Перекрещивающееся		Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Произвольное		Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Кругообразное		Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются

Типы направлений неровностей	Схематическое изображение	Пояснение
		требования
Радиальное		Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования

Для оценки несущей способности шероховатости в настоящее время наиболее широкое применение получила относительная опорная кривая профиля поверхности, построенная в относительных координатах (Рис. 10.2), описываемая уравнением:

$$t_p = b\varepsilon^v,$$

где b, v -параметры начального участка опорной поверхности; ε - относительное расстояние от линии выступов $\varepsilon = y/R_{max}$; y - расстояние от линии выступов, до рассматриваемого уровня, мкм.

Эта кривая может быть использована и для косвенной оценки износостойкости поверхности.

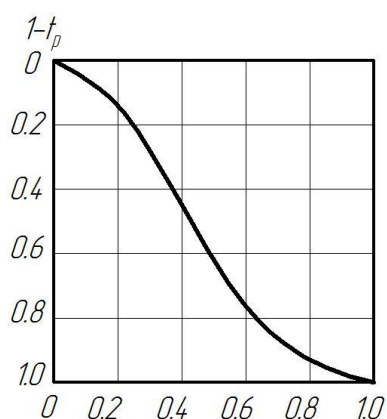


Рис. 10.2. Опорная кривая
профиля.

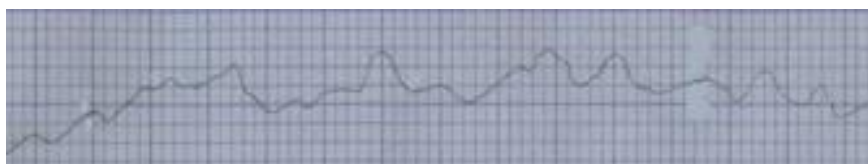


Рис. 10.3. Профилограмма, снятая с поверхности
детали.



Рис. 10.4. Профилометр.



Рис. 10.5. Образцы сравнения шероховатости

Методика выполнения работы.

1. Изучить полученную профилограмму и отметить ее особенности, присущие шероховатости поверхности, полученной после шлифования.

2. Разметить профилограмму (провести базовую линию профиля, ограничить базовую длину, ограничившись пятью вершинами и пятью впадинами, провести линию вершин и линию впадин). Определить параметры R_z , R_a , R_{max} , S , S_m , построить относительную опорную кривую. Для этого разбить профилограмму на уровни от линии вершин (0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0). Определив суммарную длину материала пересеченных неровностей, разделить ее на базовую длину. Построить график аналогично рис. 10.2.

3. Определить высотные и шаговые параметры шероховатости.

4. Сделайте выводы по полученным результатам.

Список использованных ГОСТов

- 1.ГОСТ 25346-89 Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 11.04.89 N 983: дата введения 1990-01-01.
- 2.ГОСТ 25347-82 Основные нормы взаимозаменяемости. ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21.07.82 N 2764: дата введения 1983-07-01.
- 3.ГОСТ 8338-75 Подшипники шариковые, радиальные однорядные. Основные размеры. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 28 марта 1975 г. N 789: дата введения 1976-07-01.
- 4.ГОСТ 520-2002 Подшипники качения. Общие технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 10 декабря 2002 г. N 460-ст: дата введения 2003-07-01.
- 5.ГОСТ 3325-85 Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.12.91 N 2314: дата введения 1987-01-01.
- 6.ГОСТ 30893.1-2002 Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 23 июня 2003 г. N 22-ст: дата введения 2004-01-01.
- 7.ГОСТ 23360-78 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 ноября 1978 г. N 3034: дата введения 1980-01-01.

8. ГОСТ 1139-80 Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета по стандартам от 03.06.80 N 2516: дата введения 1982-01-01.
9. ГОСТ 9150-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Профиль: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23 апреля 1981 года N 2084: дата введения 1982-01-01.
10. ГОСТ 16093-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 июня 1981 г. N 3001: дата введения 1982-01-01.
11. ГОСТ 24642-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18.03.81 N 1423: дата введения 1981-07-01.
12. ГОСТ 24643-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18 марта 1981 г. N 1423: дата введения 1981-07-01.
13. ГОСТ 25069-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Неуказанные допуски формы и расположения поверхностей: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29 декабря 1981 г. N 5722: дата введения 1982-07-01.
14. ГОСТ 2.308-79 ЕСКД. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 4 января 1979 г. N 31: дата введения 1980-01-01.
15. ГОСТ 1643-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски: утвержден и введен в действие

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 21 апреля 1981 г. N 2046: дата введения 1981-07-01.

16. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 23.04.73 N 995: дата введения 1975-01-01.

Приложение А.

Допуски и посадки (таблица дана в сокращении)

Интервал размеров mm.	Поля допусков отверстий и валов																																
	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	H7	f7	js7	s7	H8	d8	e8	h8	u8	H9	d9	f9	H11	a11	b11	c11	d11	h11	H12	b12	h12	H14	h14	js14
	предельные отклонения мкм.																																
От 1 до 3 вкл.	-2	0	+3	+6	+8	+10	+12	+16	-	+10	-6	+5	+24	+14	-20	-14	0	+32	+25	-20	-6	+60	-270	-	-60	-20	0	+100	-140	0	+250	0	+125
	-8	-6	-3	0	+2	+4	+6	+10	-	0	-16	-5	+14	0	-34	-28	-14	+18	0	-45	-31	0	-330	-	-120	-80	-60	0	-240	-100	0	-250	-125
Св. 3 до 6 вкл.	-4	0	+4	+9	+12	+16	+20	+23	-	+12	-10	+6	+31	+18	-30	-20	0	+41	+30	-30	-10	+75	-270	-	-70	-30	0	120	-140	0	+300	0	+150
	-12	-8	-4	+1	+4	+8	+12	+15	-	0	-22	-6	+19	0	-48	-38	-18	+23	0	-60	-40	0	-345	-	-145	-105	-75	0	-260	-120	0	-300	-150
Св. 6 до 10 вкл.	-5	0	+4,5	+10	+15	+19	+24	+28	-	+15	-13	+7	+38	+22	-40	-25	0	+50	+36	-40	-13	+90	-280	-	-80	-40	0	+150	-150	0	+360	0	+180
	-14	-9	-4,5	+1	+6	+10	+15	+19	-	0	-28	-7	+23	0	-62	-47	-22	+28	0	-76	-49	0	-370	-	-170	-130	-90	0	-300	-150	0	-360	-180
Св. 10 до 14 вкл.	-6	0	+5,5	+12	+18	+23	+29	+24	-	+18	-16	+9	+46	+27	-50	-32	0	+60	+43	-50	-16	+110	-290	-	-95	-50	0	+180	-150	0	+430	0	+215
Св. 14 до 18 вкл.	-17	-11	-5,5	+1	+7	+12	+18	+23	-	0	-34	-9	+28	0	-77	-59	-27	+33	0	-93	-59	0	-400	-	-205	-160	-110	0	-330	-180	0	-430	-215
Св. 18 до 24 вкл.	-7	0	+6,5	+15	+20	+28	+35	+41	-	+21	-20	+10	+56	+33	-65	-40	0	+74	+52	-65	-20	+130	-300	-	-110	-65	0	+210	-160	0	+520	0	+260
Св. 24 до 30 вкл.	-20	-13	-6,5	+2	+8	+15	+22	+28	-	0	-41	-10	+35	0	-98	-73	-33	+81	0	-117	-72	0	-430	-	-240	-195	-130	0	-370	-210	0	-520	-260
Св. 30 до 40 вкл.	-9	0	+8	+18	+25	+33	+42	+50	-	+25	-25	+12	+68	+39	-80	-50	0	+99	+62	-80	-25	+160	-310	-170	-	-80	0	+250	-170	0	+620	0	+310
Св. 40 до 50 вкл.	-25	-16	-8	+2	+9	+17	+26	+34	-	0	-50	-12	+43	0	-119	-89	-39	+109	0	-142	-87	0	-470	-330	-	-240	-160	0	-420	-250	0	-620	-310
Св. 50 до 65 вкл.	-10	0	+9,5	+21	+30	+39	+51	+60	-	+30	-30	+15	+83	+46	-100	-60	0	+133	+74	-100	-30	+190	-340	-190	-	-100	0	+300	-190	0	+740	0	+370
Св. 65 до 80 вкл.	-29	-19	-9,5	+2	+10	+20	+32	+41	-	0	-60	-15	+53	0	-146	-106	-46	+148	0	-174	-104	0	-530	-380	-	-290	-190	0	-490	-300	0	-740	-370
Св. 80 до 100 вкл.	12	0	+11	+25	+35	+45	+59	+73	+93	+35	-36	+17	+106	+54	-120	-72	0	+178	+87	-120	-36	+220	-380	-220	-	-120	0	+350	-220	0	+870	0	+435
Св.100 до120	34	-22	-11	+3	+13	+23	+37	+51	+71	0	-71	-17	+71	0	-174	-126	-54	+124	0	-207	-123	0	-600	-440	-	-340	-220	0	-570	-350	0	-870	-435
								+76	-10				+114					+198					-410	-240					-240				

Вкл.								+54	+79				+79					+144					-630	-460					-590				
Св.120 до140 Вкл.									-117				+132					+233					-460	-260					-260				
									+92				+92					+170					-710	-510					-660				
Св.140 до160 Вкл.	-14	0	+12,5	+28	+40	+52	+68	-	-125				+140					+253					-520	-280	-				-280				
									-100	+40	-43	+20	+100	+63	-145	-85	0	+190	+100	-145	-43	+250	-770	-530		-145	0	+400	-680	0	+1000	0	+500
Св.160 до180 Вкл.	-39	-25	-12,5	+3	+15	+27	+43	-	-133	0	-83	-20	+148	0	-208	-148	-63	+273	0	-245	-143	0	-580	-310		-395	-250	0	-310	-400	0	-1000	-500
									-108				+108					+210					-830	-560					-710				
Св.450 до500 Вкл.									-297				+315					+637					-1650		-480				-840				
									-252				+252					+540					-2050		-880				-1470				

