

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

**О. И. Медведева
М. В. Семибратова**

**НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Утверждено в качестве учебного пособия
Ученым советом Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Комсомольск-на-Амуре
2013

УДК 006.91-027.21(07)

ББК 30.10я7+30ц.я7

М42

Рецензенты:

О. Н. Комаров, кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник ФГБУН «Институт машиноведения
и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук»;
А. К. Литовченко, кандидат технических наук, доцент,
зам. гендиректора по экономике ОАО «Передвижная механизированная
колонна № 83» Комсомольского района Хабаровского края

Медведева, О. И.

М42 Нормирование точности и технические измерения : учеб. пособие /
О. И. Медведева, М. В. Семибратова. – Комсомольск-на-Амуре :
ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 148 с.

ISBN 978-5-7765-1032-8

В учебном пособии приводятся понятия точности и нормирования точности линейных размеров, отклонений, допусков и посадок цилиндрических поверхностей, подшипников качения, шпоночных, шлицевых, резьбовых соединений, цилиндрических зубчатых передач; рассматриваются нормирование шероховатости поверхности, точности формы и расположения поверхностей, методы решения размерных цепей; даются рекомендации по выбору посадок при выполнении самостоятельных работ; приводятся сведения о технических измерениях.

Пособие предназначено для студентов направления 151900.62 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» очной и заочной форм обучения.

УДК 006.91-027.21(07)

ББК 30.10я7+30ц.я7

ISBN 978-5-7765-1032-8

© ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический
университет», 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	7
1.1. Взаимозаменяемость. Основные понятия.....	7
1.2. Понятие точности, линейные размеры и отклонения.....	10
1.3. Допуски размеров, посадки и допуск посадки.....	11
1.4. Основные отклонения.....	14
1.5. Квалитеты.....	15
1.6. Система отверстия и система вала. Обозначение посадок.....	16
1.7. Схематичное изображение полей допусков.....	22
1.8. Условное обозначение предельных отклонений и посадок.....	23
1.9. Методы выбора посадок и области их применения.....	27
1.10. Задачи к самостоятельной работе.....	31
1.11. Примеры решения задач.....	34
2. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	35
2.1. Классы точности и поля допусков подшипников.....	35
2.2. Виды нагружения колец подшипника. Выбор посадок.....	37
2.3. Задачи к самостоятельной работе.....	39
2.4. Пример решения задачи.....	40
3. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	42
3.1. Допуски и посадки шпоночных соединений.....	42
3.2. Задачи к самостоятельной работе.....	44
3.3. Пример решения задачи.....	44
4. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ...	45
4.1. Допуски и посадки шлицевых соединений.....	45
4.2. Примеры обозначения посадок шлицевых соединений.....	47
4.3. Задачи к самостоятельной работе.....	48
5. НОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ, ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ...	49
5.1. Шероховатость поверхности.....	49
5.1.1. Основные понятия и определения.....	49
5.1.2. Обозначение шероховатости на чертежах.....	52
5.2. Отклонения и допуски формы поверхностей.....	59
5.2.1. Основные понятия и определения.....	59
5.2.2. Отклонения формы плоских поверхностей.....	60
5.2.3. Отклонения формы цилиндрических поверхностей.....	61
5.3. Отклонения расположения поверхностей.....	64
5.4. Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей.....	67

5.5. Зависимый и независимый допуски расположения (формы)....	68
5.6. Нормирование точности формы и расположения поверхностей.....	68
5.7. Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей.....	70
5.8. Задачи к самостоятельной работе.....	72
6. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ....	73
6.1. Виды и основные параметры резьб.....	73
6.2. Допуски и посадки метрических резьб.....	74
6.3. Задачи к самостоятельной работе.....	78
6.4. Пример решения задачи.....	78
7. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ.....	78
7.1. Основные понятия и определения.....	78
7.2. Допуски зубчатых передач.....	80
7.3. Условные обозначения точности зубчатых колес и передач....	81
7.4. Контроль элементов зубчатых колес.....	82
7.5. Задачи к самостоятельной работе.....	82
8. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ.....	83
8.1. Термины, определения и обозначения.....	83
8.2. Методы решения размерных цепей.....	84
8.3. Основные расчетные формулы метода «максимум-минимум»	85
8.4. Задачи к самостоятельной работе.....	91
9. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПОСАДОК ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНАМ.....	92
9.1. Детали подшипниковых узлов.....	92
9.2. Зубчатые и червячные передачи.....	94
10. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....	95
10.1. Основные термины и определения.....	96
10.2. Выбор измерительных средств.....	100
10.2.1. Выбор измерительных средств в зависимости от точности измерений.....	100
10.2.2. Выбор измерительных средств в зависимости от организационно-технических форм контроля.....	104
10.2.3. Выбор измерительных средств в зависимости от масштабов производства.....	106
10.2.4. Выбор измерительных средств в зависимости от конструктивных особенностей контролируемой детали.....	106
10.3. Средства измерений линейных размеров.....	107
10.3.1. Меры длины концевые плоскопараллельные.....	107

10.3.2. Штангенинструменты.....	109
10.3.3. Микрометрические инструменты.....	112
10.3.4. Индикаторные инструменты.....	116
10.4. Специальные измерительные средства (калибры гладкие)...	119
10.4.1. Классификация калибров.....	119
10.4.2. Допуски гладких предельных калибров.....	121
10.4.3. Маркировка калибров.....	123
10.5. Координатные измерительные машины.....	126
11. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ.....	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	129
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	129
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня качества продукции по-прежнему является важнейшей задачей машиностроения, в успешном решении которой большая роль принадлежит квалифицированным кадрам. Ежегодно на машиностроительные предприятия приходят молодые специалисты, которые с первых же дней работы должны выполнять высококачественную продукцию в строгом соответствии с требованиями технической документации (чертежей, технологических карт, технических условий и др.). Техническая документация содержит требования по точности (допускам и посадкам) размеров, формы и расположения поверхностей, а также по параметрам шероховатости.

При выполнении тех или иных операций технологического процесса этой документацией руководствуется каждый работник машиностроительной специальности, а также работники отдела технического контроля (ОТК) при выполнении возложенных на них обязанностей. Молодые специалисты в повседневной работе сталкиваются с необходимостью чтения чертежей, на которых содержатся условные обозначения предельных отклонений и допусков, а также параметров шероховатости. К тому же молодой специалист должен быть подготовлен к проведению простейших расчетов по допускам и посадкам, а в необходимых случаях должен уметь пользоваться справочными данными и таблицами.

Допуски и посадки нормированы государственными стандартами, входящими в две системы: «Единую систему допусков и посадок» (ЕСДП) и «Основные нормы взаимозаменяемости» (ОНВ). ЕСДП распространяется на допуски размеров гладких элементов деталей и на посадки, образуемые при соединении этих деталей. ОНВ регламентируют допуски и посадки шпоночных, шлицевых, резьбовых и конических соединений, а также зубчатых передач и колес.

Освоение дисциплины «Нормирование точности и технические измерения» в методическом единстве является частью профессиональной подготовки специалистов в высших учебных заведениях. Сведения, полученные при изучении дисциплины, практически осваиваются, закрепляются и развиваются при последующем использовании их в общих и специальных конструкторских и технологических дисциплинах, а также в курсовых и дипломных проектах.

При изучении дисциплины «Нормирование точности и технические измерения» студентам необходимо освоить теоретический материал, выполнить лабораторные работы и самостоятельную работу.

Самостоятельная работа для студентов заочной формы обучения включает:

– 1 РГЗ (расчётно-графическое задание) по разделам «Нормирование точности»;

– 1 К (контрольная работа) по разделам «Технические измерения».

Номер варианта задач самостоятельной работы соответствует последней цифре номера зачетной книжки.

Самостоятельная работа для студентов очной формы обучения выполняется по специальным методическим указаниям и заключается в решении пяти задач (5 РГЗ) по следующим разделам дисциплины:

- выбор и расчёт посадок гладких цилиндрических соединений;
- расчёт калибров для контроля деталей гладких цилиндрических соединений;
- выбор и расчёт посадок подшипниковых соединений;
- выбор и расчёт посадок шпоночных соединений;
- выбор и расчёт посадок шлицевых соединений.

1. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

1.1. Взаимозаменяемость. Основные понятия

Представьте себе, что во время работы какой-то машины изнасилась или сломалась деталь. Что делать? Изготовить её своими силами? Это потребует много времени, да и не всегда возможно в силу целого ряда причин. Проще взять со склада запасную деталь и заменить ею вышедшую из строя.

Конечно, новая деталь должна по своим размерам и форме точно соответствовать заменяемой. Иначе пришлось бы потратить много времени на её подгонку. Такая несложная замена стала возможной в современном производстве машин благодаря применению **принципа взаимозаменяемости**.

Взаимозаменяемость – это *принцип* конструирования, производства и эксплуатации машин и других изделий, *обеспечивающий их бесподгоночную сборку (или замену при ремонте)* из независимо изготовленных сопрягаемых деталей и элементов при соблюдении предъявляемых к машинам и изделиям технических требований.

Взаимозаменяемыми могут быть детали, узлы, изделия в целом. При сборке используются стандартные крепежные детали, подшипники качения, электротехнические, резиновые, пластмассовые изделия и агрегаты, получаемые по кооперации. Есть и другое определение взаимозаменяемости, но суть понятия не изменилась.

Взаимозаменяемость – это *свойство* независимо изготовленных с заданной точностью деталей и составных частей машин, приборов и других изделий *обеспечивать возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте)* сопрягаемых деталей в составные части, а составных частей – в изделия при соблюдении предъявляемых к составным частям и изделиям технических требований.

Виды взаимозаменяемости:

– **полная** – обеспечивает возможность бесперебойной сборки (или замены при ремонте) любых независимо изготовленных с заданной точностью однотипных деталей в сборочные единицы или изделия при соблюдении предъявляемых к ним (сборочным единицам или изделиям) технических требований по всем параметрам качества. При полной взаимозаменяемости **упрощается сборка**, которая сводится к простому соединению деталей рабочими невысокой квалификации, **сборочный процесс точно нормируется во времени**, согласуется с темпом работы конвейера, и создаются возможности **организации производства поточным методом**, появляются возможности для **автоматизации процессов** изготовления и сборки изделий, **упрощается ремонт изделий**, т.к. любая износившаяся или сломанная деталь могут быть заменены запасными. Например, замена электрической лампочки или сломанной иглы в швейной машинке не вызывает удивления, хотя патрон для лампочки и лампочка, швейная машинка и игла были изготовлены в разное время, на разных предприятиях и даже, может быть, в разных странах;

– **неполная (ограниченная)** – когда для получения требуемой точности сборки применяют групповой подбор деталей (селективную сборку), компенсаторы, регулирование положения некоторых частей машин и приборов, пригонку и другие дополнительные технологические мероприятия при обязательном выполнении требований к качеству сборочных единиц и изделий. Если в телевизоре сгорел кинескоп, то новый устанавливают в старый корпус, на то же место (полная взаимозаменяемость по размерам), но, как правило, требуется регулировать некоторые характеристики, подстраивать их до требуемого уровня, т.е. по таким элементам телевизор обладает ограниченной взаимозаменяемостью;

– **внешняя** – это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий и сборочных единиц **по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей**. Внешняя взаимозаменяемость присуща **только** готовым изделиям или узлам. Например, **электрические двигатели** (по частоте вращения вала и мощности, а также по точности размера между присоединительными крепёжными отверстиями); **подшипники качения** (по точности самого подшипника, а также по точности размеров посадочных поверхностей – отверстию внутреннего кольца и наружной поверхности наружного кольца);

– **внутренняя** – это взаимозаменяемость деталей, **входящих в узел, или узлов, входящих в изделие**. Например, в подшипниках качения – взаимозаменяемость тел качения и колец;

– **функциональная** – это взаимозаменяемость по **основным эксплуатационным показателям** работы изделия, определяющим его **служебные функции**. Одно из главных условий обеспечения функциональной

взаимозаменяемости – это установление связей эксплуатационных показателей с функциональными параметрами и независимое изготовление деталей и составных частей по этим параметрам с точностью, определяемой исходя из допусковых отклонений эксплуатационных показателей в конце срока их службы.

Уровень взаимозаменяемости на производстве определяется **коэффициентом взаимозаменяемости**:

$$K_B = \frac{T_B}{T_O},$$

где T_B – трудоемкость изготовления взаимозаменяемых деталей;

T_O – трудоемкость изготовления изделия в целом.

Две или несколько деталей, подвижно или неподвижно соединенные друг с другом, называются **соединением** (рис. 1.1).

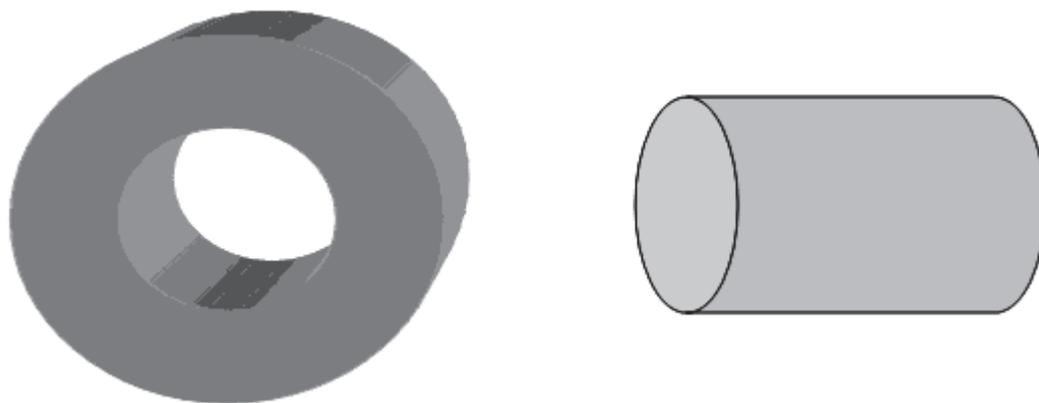


Рис. 1.1. Детали гладкого цилиндрического соединения

В соединении двух деталей, входящих одна в другую, различают **охватывающую и охватываемую поверхности**. Для гладких цилиндрических соединений охватывающая поверхность называется **отверстием**, а охватываемая – **валом**. Соответствующие им размеры – **диаметр отверстия** и **диаметр вала** (рис. 1.2).

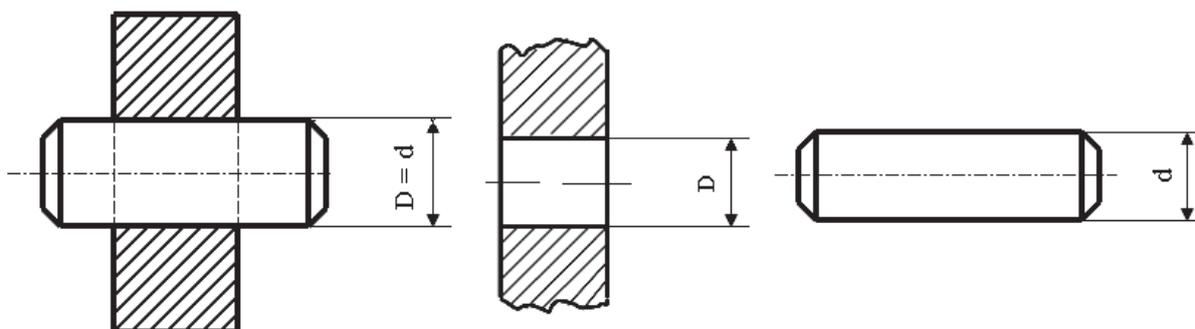


Рис. 1.2. Гладкое цилиндрическое соединение и его детали

1.2. Понятие точности, линейные размеры и отклонения

Точностью изготовления называют степень приближения действительных значений геометрических и других параметров деталей и изделий к их заданным значениям, указанным в чертежах или технических требованиях. Достичь заданной точности – значит изготовить детали и собрать механизм так, чтобы погрешности геометрических, электрических и других параметров находились в установленных пределах.

Точность размеров – это степень приближения действительных значений размеров деталей машин к размерам, заданным на чертеже.

На рабочих чертежах деталей проставляют в первую очередь номинальные размеры.

Номинальный размер – это основной размер, определенный исходя из функционального назначения детали и служащий началом отсчета отклонений. Общий для отверстия и вала, составляющих соединение, номинальный размер называется номинальным размером соединения (см. рис. 1.2).

Есть и другое определение номинального размера. **Номинальный размер** – это размер, относительно которого определяют предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений.

D – обозначение номинального размера отверстия;

d – обозначение номинального размера вала.

Обработать деталь точно по номинальному размеру практически невозможно из-за многочисленных погрешностей, влияющих на процесс обработки. Размеры обработанной детали отличаются от заданного номинального размера, поэтому их ограничивают двумя предельно допустимыми размерами, один из которых (большой) называется **наибольшим предельным размером**, а другой (меньший) – **наименьшим предельным размером**.

В расчетах используются следующие обозначения:

D_{max} – наибольший предельный размер отверстия;

D_{min} – наименьший предельный размер отверстия;

d_{max} – наибольший предельный размер вала;

d_{min} – наименьший предельный размер вала.

Действительный размер – размер, полученный в результате измерения с допустимой погрешностью. Например:

D_д – действительный размер отверстия;

d_д – действительный размер вала.

Деталь является годной, если ее действительный размер больше наименьшего предельного размера, но не превосходит наибольшего предельного размера, т.е.

$D_{\min} \leq D_{\text{д}} \leq D_{\max}$ – условие годности деталей типа «отверстие»;

$d_{\min} \leq d_{\text{д}} \leq d_{\max}$ – условие годности деталей типа «вал».

На чертежах вместо предельных размеров рядом с номинальным размером указывают два предельных отклонения – верхнее и нижнее.

Верхнее отклонение размера – это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами. Например:

$$ES = D_{\max} - D - \text{верхнее отклонение отверстия};$$

$$es = d_{\max} - d - \text{верхнее отклонение вала}.$$

Нижнее отклонение размера – это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами. Например:

$$EI = D_{\min} - D - \text{нижнее отклонение отверстия};$$

$$ei = d_{\min} - d - \text{нижнее отклонение вала}.$$

Отклонения бывают положительными, отрицательными и равными нулю. Отклонения, равные нулю, в обозначении не указываются. На чертежах номинальные и предельные линейные размеры и их отклонения проставляют в миллиметрах без указания единицы физической величины.

Пример:

$$1) 24_{+0,002}^{+0,015}; \quad 2) 40_{-0,050}^{-0,025}; \quad 3) 32_{-0,018}^{+0,007}; \quad 4) 12^{+0,027}; \quad 5) 78_{-0,046}; \quad 6) 100 \pm 0,5.$$

Зная предельные отклонения и используя формулы их расчета, можно рассчитать значения предельных размеров:

$$1) d_{\max} = d + es = 24 + (+0,015) = 24,015 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 24 + (+0,002) = 24,002 \text{ мм};$$

$$2) d_{\max} = d + es = 40 + (-0,025) = 39,975 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 40 + (-0,050) = 39,950 \text{ мм};$$

$$3) D_{\max} = D + ES = 32 + (+0,007) = 32,007 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = D + EI = 32 + (-0,018) = 31,982 \text{ мм};$$

$$4) D_{\max} = D + ES = 12 + (+0,027) = 12,027 \text{ мм};$$

$$D_{\min} = D + EI = 12 + 0 = 12 \text{ мм};$$

$$5) d_{\max} = d + es = 78 + 0 = 78 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 78 + (-0,046) = 77,954 \text{ мм};$$

$$6) d_{\max} = d + es = 100 + (+0,5) = 100,5 \text{ мм};$$

$$d_{\min} = d + ei = 100 + (-0,5) = 99,5 \text{ мм}.$$

1.3. Допуски размеров, посадки и допуск посадки

Допуском размера называется разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями.

Допуск обозначают буквой «Т» (от латинского Tolerance – допуск):

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI - \text{допуск размера отверстия};$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = es - ei - \text{допуск размера вала}.$$

Для рассмотренных ранее примеров 1 – 6 (раздел 1.2) допуски размеров определяются следующим образом:

$$1) Td = 24,015 - 24,002 = 0,015 - 0,002 = 0,013 \text{ мм};$$

$$2) Td = 39,975 - 39,950 = (-0,025) - (-0,050) = 0,025 \text{ мм};$$

$$3) TD = 32,007 - 31,982 = 0,007 - (-0,018) = 0,025 \text{ мм};$$

$$4) TD = 12,027 - 12 = 0,027 - 0 = 0,027 \text{ мм};$$

$$5) Td = 78 - 77,954 = 0 - (-0,046) = 0,046 \text{ мм};$$

$$6) Td = 100,5 - 99,5 = 0,5 - (-0,5) = 1 \text{ мм}.$$

Допуск – величина всегда положительная. Допуск характеризует точность изготовления детали. Чем меньше допуск, тем труднее обрабатывать деталь, так как повышаются требования к точности станка, инструмента, приспособлений, квалификации рабочего. Неоправданно большие допуски снижают надежность и качество работы изделия.

В некоторых соединениях при различных сочетаниях предельных размеров отверстия и вала могут возникать зазоры или натяги. **Характер соединения деталей, определяемый значениями получающихся в нем зазоров или натягов, называется посадкой.** Посадка характеризует большую или меньшую свободу относительного перемещения соединяемых деталей или степень сопротивления их взаимному смещению.

Различают **три группы посадок:**

- 1) с гарантированным зазором;
- 2) переходные;
- 3) с гарантированным натягом.

Если размеры отверстия больше размеров вала, то в соединении возникает зазор (рис. 1.3).

Зазор – это положительная разность между размерами отверстия и вала:

$$S = D - d > 0 \text{ – зазор};$$

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} \text{ – наибольший зазор};$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} \text{ – наименьший зазор}.$$

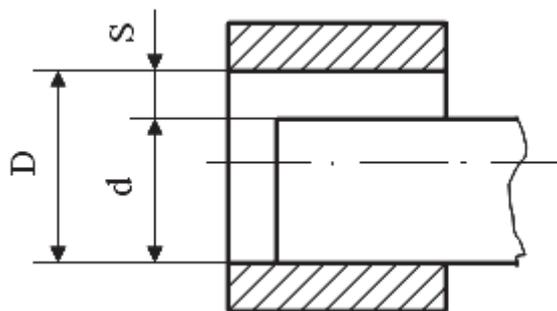


Рис. 1.3. Соединение с зазором

Если до сборки размеры вала больше размеров отверстия, то в соединении возникает натяг.

Натяг – это положительная разность между размерами вала и отверстия:

$$N = d - D > 0 \text{ – натяг};$$

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} \text{ – наибольший натяг};$$

$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$ – наименьший натяг.

А теперь рассмотрим конкретное соединение:

отверстие – $\varnothing 24^{+0,027}$; вал – $\varnothing 24^{+0,015}_{+0,002}$.

Сразу сказать, что получится в соединении (зазор или натяг) довольно нелегко. Предположим, что это соединение с зазором. Рассчитаем предельные значения зазоров для данного конкретного соединения:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 24,027 - 24,002 = 0,025;$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 24 - 24,015 = -0,015.$$

Как видим, минимальный зазор получился отрицательным. Это значит, что максимальный размер вала d_{\max} больше, чем минимальный размер отверстия D_{\min} , а положительная разность между максимальным валом и минимальным отверстием – это натяг, причем максимальный

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}.$$

Таким образом, отрицательный минимальный зазор – это положительный максимальный натяг, т.е.

$$-S_{\min} = +N_{\max}.$$

Таким образом, в рассматриваемом соединении при одном сочетании предельных размеров отверстия и вала может получиться зазор, который меняется от 0,025 мм до нуля ($S = 0 - 0,025$), а при другом сочетании предельных размеров отверстия и вала может получиться натяг, который меняется от 0,015 мм до нуля ($N = 0 - 0,015$). То есть в данном соединении есть вероятность появления или зазора, или натяга. Причем вероятность появления зазора немного выше, чем вероятность появления натяга.

Такие посадки называются переходными.

Допуск посадки – это допуск зазора для посадок с гарантированным зазором (определяется как разность между наибольшим и наименьшим зазорами) или допуск натяга для посадок с гарантированным натягом (определяется как разность между наибольшим и наименьшим натягами). В переходных посадках допуск посадки – это сумма максимального зазора и максимального натяга.

Обозначение допуска посадки:

$T_S = S_{\max} - S_{\min}$ – допуск посадки для посадок с гарантированным зазором;

$T_N = N_{\max} - N_{\min}$ – допуск посадки для посадок с гарантированным натягом;

$T_{(S,N)} = S_{\max} + N_{\max}$ – допуск посадки для переходных посадок.

Для любой группы посадок допуск посадки можно определить по формуле

$$T_{(S,N)} = TD + Td.$$

1.4. Основные отклонения

Из двух предельных отклонений стандарт выделяет одно, которое называют основным. **Основное отклонение** – это одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), ближайшее к номинальному размеру.

Для ранее приведенных шести примеров простановки отклонений (см. раздел 1.2) определим числовые значения основных отклонений:

1) +0,002; 2) -0,025; 3) +0,007; 4) 0; 5) 0; 6) не определено.

В шестом примере определить основное отклонение невозможно, оба отклонения равно удалены от номинального размера.

Основные отклонения обозначают буквами латинского алфавита (рис. 1.4):

- прописными буквами – основные отклонения отверстий
A, B, C, D, E, F, G, H, J, J_s, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z;
- строчными буквами – основные отклонения валов
a, b, c, d, e, f, g, h, j, j_s, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z.

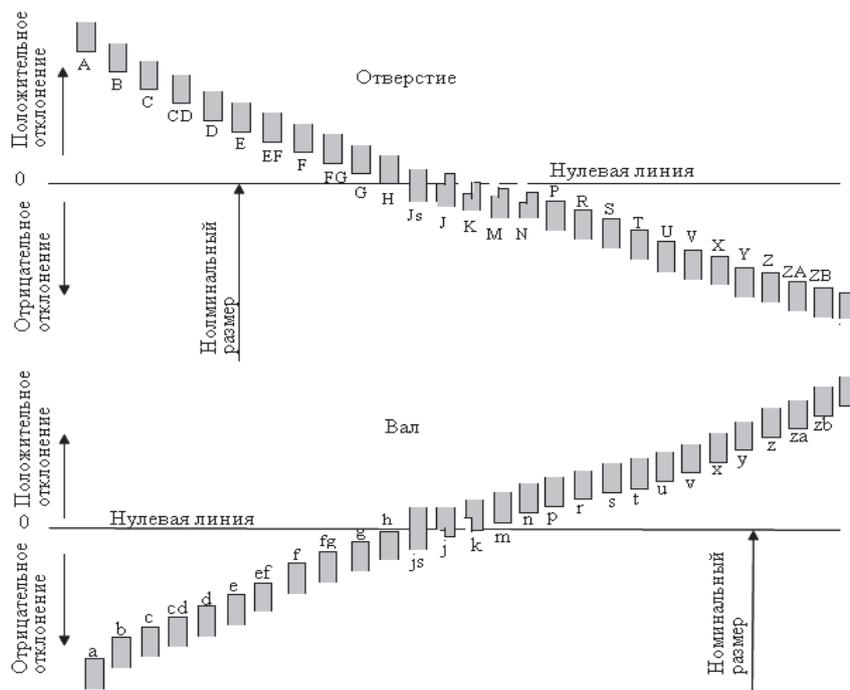


Рис. 1.4. Основные отклонения отверстий и валов

Основные отклонения *от A до H (a – h)* предназначены для образования посадок с гарантированным зазором. Причем зазор уменьшается от A до H (a – h).

Основные отклонения *J_s, K, M, N (j_s, k, m, n)* предназначены для образования переходных посадок. Причем основное отклонение *J_s (j_s)* дает большую вероятность появления в соединении зазора и небольшую веро-

ятность появления натяга. А основное отклонение $N (n)$ уже, наоборот, дает большую вероятность появления натяга и меньшую вероятность появления зазора.

Основные отклонения $K (k)$, $M (m)$ дают примерно равные вероятности появления в соединении зазоров или натягов. Основное отклонение $J (j)$ может иметь **индекс «s»**, например: J_s, j_s . Это означает **симметричное расположение отклонений** относительно номинального размера. В этом случае числовые значения верхнего и нижнего отклонений численно равны, но противоположны по знаку (см. пример 6).

Основные **отклонения от P до Z ($p - z$) предназначены для образования посадок с гарантированным натягом**. Причем натяг увеличивается от P до Z ($p - z$).

Основные отклонения вала и отверстия, обозначенные одноименной буквой (для данного интервала размеров), равны по величине, но противоположны по знаку, например:

– для отверстий с основными отклонениями от A до H и валов от a до h
 $+EI = -es$;

– для отверстий с основными отклонениями от P до Z и валов от p до z
 $-ES = +ei$.

1.5. Квалитеты

В каждом изделии детали разного назначения изготавливают с различной точностью. Для нормирования требуемых уровней точности установлены **квалитеты (степени точности) изготовления размеров деталей**. **Под квалитетом понимают совокупность допусков, характеризуемых постоянной относительной точностью для всех номинальных размеров данного диапазона (например, от 1 до 500 мм)**.

Точность в пределах одного квалитета зависит только от номинального размера. Стандартом установлено 20 квалитетов: **01, 0, 1, 2, 3... 18**. **Квалитет определяет допуск на изготовление**, а следовательно, и соответствующие методы и средства обработки и контроля деталей машин. Наивысшей точности соответствует квалитет 01, а низшей – 18 квалитет. **Значит, чем больше номер квалитета, тем больше допуск размера**.

Квалитеты 01, 0, 1 предназначены для нормирования точности размеров плоскопараллельных концевых мер длины.

Квалитеты 2, 3, 4 – для нормирования точности размеров гладких калибров-пробок и калибров-скоб, деталей измерительных приборов и инструментов.

Квалитеты 5 и 6 предназначены для нормирования точности размеров деталей высокоточных ответственных соединений (шпинделей прецизионных станков, шеек коленчатых валов и др.).

Квалитеты 7, 8 являются наиболее распространенными. Они предусмотрены для размеров точных ответственных соединений в машиностроении, например: деталей двигателей внутреннего сгорания, автомобилей, самолетов, металлорежущих станков.

По квалитету 9 преимущественно выполняют размеры деталей тепловозов, паровых машин, подъемно-транспортных механизмов, полиграфических, сельскохозяйственных машин.

Квалитет 10 предназначен для размеров неответственных соединений, например для деталей тракторов, вагонов.

Квалитеты 11, 12 предназначены для нормирования точности размеров деталей, образующих неответственные соединения, в которых допустимы большие зазоры и их колебания, например размеров крышек, фланцев.

Квалитеты 13 – 18 предназначены для неответственных размеров деталей, не входящих в соединения с другими деталями, т.е. для свободных размеров, а также для межоперационных размеров.

Допуск квалитета условно обозначают прописными латинскими буквами *IT* с номером квалитета, например: *IT6* – допуск 6 квалитета.

Значения допусков для размеров до 500 мм приведены в табл. 1.1.

1.6. Система отверстия и система вала.

Обозначение посадок

Сочетание основного отклонения и квалитета образует поле допуска размера детали. Например:

e8, k6, r6 – поля допусков валов;

D10, M8, R7 – поля допусков отверстий (табл. 1.2, 1.3).

Посадки на чертежах обозначают дробью: в числителе пишут поле допуска отверстия, а в знаменателе – поле допуска вала.

Посадки предусмотрены в двух системах: системе посадок основного отверстия и системе посадок основного вала.

Система посадок основного отверстия или просто *система отверстия* – это совокупность посадок, в которых предельные отклонения отверстий одинаковы (при одном номинальном размере и квалитете), а различные посадки достигаются изменением предельных отклонений валов.

Основное отверстие – это отверстие, которое обозначается буквой *H* и у которого нижнее отклонение равно нулю ($EI = 0$). При обозначении посадок в системе отверстия в числителе всегда будет стоять основное отверстие «H», а в знаменателе – основное отклонение вала, предназначенное для образования той или иной посадки.

Например:

$\frac{H7}{f7}$ – посадка в системе отверстия с гарантированным зазором;

$\frac{H7}{m6}$ – посадка в системе отверстия, переходная;

$\frac{H8}{s7}$ – посадка в системе отверстия с гарантированным натягом.

Система посадок основного вала или просто *система вала* – это совокупность посадок, в которых предельные отклонения валов одинаковы (при одном номинальном размере и одном качестве), а различные посадки достигаются путем изменения предельных отклонений отверстий.

Основной вал – это вал, который обозначается буквой «h» и у которого верхнее отклонение равно нулю ($es = 0$).

При обозначении посадок в системе вала в знаменателе (где пишется всегда поле допуска вала) будет стоять основной вал «h», а в числителе – основное отклонение отверстия, предназначенное для образования той или иной посадки.

Например:

$\frac{D10}{h10}$ – посадка в системе вала с гарантированным зазором;

$\frac{M8}{h7}$ – посадка в системе вала, переходная;

$\frac{R7}{h6}$ – посадка в системе вала с гарантированным натягом.

Стандарт разрешает любое сочетание полей допусков отверстий и валов, например: $\frac{E8}{m6}$; $\frac{D10}{f8}$ и др. Такие посадки будем называть **комбинированными**.

И в то же время для всех диапазонов размеров установлены рекомендуемые посадки и для размеров 1 – 500 мм из них выделены предпочтительные, например: H7/f7; H7/n6 и т.п. (см. табл. 1.2 и 1.3).

Унификация посадок позволяет обеспечить однородность конструктивных требований к соединениям и облегчить работу конструкторов по назначению посадок. Комбинируя различные варианты предпочтительных полей допусков валов и отверстий, можно значительно расширить возможности системы по созданию различных посадок без увеличения набора инструментов, калибров и другой технологической оснастки. В каждой отрасли можно сократить число полей допусков и посадок, введя ограничительный стандарт (отраслевой или стандарт предприятия).

Таблица 1.1

Допуски для размеров до 500 мм

Номинальный размер, мм	Квалитет															
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Обозначение допуска															
	IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
	Допуск, мкм															
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250
3 – 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300
6 – 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360
10 – 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430
18 – 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520
30 – 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620
50 – 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740
80 – 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870
120 – 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
180 – 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150
250 – 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300
315 – 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400
400 – 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550

Таблица 1.2

Поля допусков отверстий при номинальных размерах от 1 до 500 мм

Ква- литет	Основные отклонения																					
	A	B	C	D	E	F	G	H	J _s	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	
01								H01*	J _s 01*													
0								HO*	J _s 0*													
1								H1*	J _s 1*													
2								H2*	J _s 2*													
3								H3*	J _s 3*													
4								H4*	J _s 4*													
5							G5	H5	J _s 5	K5	M5	N5										
6							G6	H6	J _s 6	K6	M6	N6	P6									
7						F7	G7	H7	J _s 7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7						
8				D8	E8	F8		H8	J _s 8	K8	M8	N8					U8					
9				D9	E9	F9		H9	J _s 9*													
10				D10				H10	J _s 10*													
11	A11	B11	C11	D11				H11	J _s 11*													
12		B12						H12	J _s 12*													
13								H13*	J _s 13*													
14								H14*	J _s 14*													
15								H15*	J _s 15*													
16								H16*	J _s 16*													
17								H17*	J _s 17*													

* Поля допусков, как правило, не предназначены для посадок
Предпочтительные поля допусков выделены жирным шрифтом

Таблица 1.3

Поля допусков валов при номинальных размерах от 1 до 500 мм

Квалитет	Основные отклонения																					
	a	b	c	d	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	
01								h01*	js01*													
0								h0*	js0*													
1								h1*	js1*													
2								h2*	js2*													
3								h3*	js3*													
4							g4	h4	js4	k4	m4	n4										
5							g5	h5	js5	k5	m5	n5	p5	r5	s5							
6						f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6						
7					e7	f7		h7	js7	k7	m7	n7			s7		u7					
8				d8	e8	f8		h8	js8*								u8	x8				z8
9				d9	e9	f9		h9	js9*													
10				d10				h10	js10*													
11	a11	b11	c11	d11				h11	js11*													
12		b12						h12	js12*													
13								h13*	js13*													
14								h14*	js14*													
15								h15*	js15*													
16								h16*	js16*													
17								h17*	js17*													

* Поля допусков, как правило, не предназначены для посадок
Предпочтительные поля допусков выделены жирным шрифтом

По экономическим соображениям посадки следует назначать, главным образом, в системе отверстия и режее в системе вала. Это сокращает номенклатуру режущих и измерительных инструментов, предназначенных для обработки и контроля отверстий. Точные отверстия обрабатывают дорогостоящим режущим инструментом (зенкерами, развертками, протяжками). Каждый из них применяют для обработки только одного размера с определенным полем допуска. Валы независимо от их размеров обрабатывают одним и тем же резцом или шлифовальным кругом. В системе отверстия различных по предельным размерам отверстий меньше, чем в системе вала, а следовательно, меньше номенклатура режущего инструмента, необходимого для обработки отверстий.

Однако в некоторых случаях по конструктивным соображениям приходится применять систему вала, например, когда требуется чередовать соединения нескольких отверстий одинакового номинального размера, но с различными посадками на одном валу, или гнездо в корпусе для установки подшипника выполняется по системе вала.

В рекомендуемых и предпочтительных посадках точных квалитетов для размеров от 1 до 3150 мм допуск отверстия, как правило, на один-два квалитета больше допуска вала, поскольку точное отверстие технологически получить труднее, чем точный вал, вследствие худших условий отвода теплоты, недостаточной жесткости, повышенной изнашиваемости и сложности направления режущего инструмента для обработки отверстий.

Увеличение допуска отверстия при сохранении допуска посадки повышает срок службы разверток и протяжек, так как при этом допускается больший их износ по диаметру и большее число заточек.

Стандарт в технически обоснованных случаях допускает применение посадок, отличающихся от рекомендуемых, но образованных из числа полей допусков валов и отверстий, предусмотренных этим стандартом. Однако в этих случаях посадка должна в первую очередь относиться к системе отверстия или к системе вала.

К 1980 г. **ЕСДП** должна была полностью заменить действующую ранее в СССР систему допусков и посадок **ОСТ**, но в старых документах (до 1977 – 1980 гг.) – конструкторской документации, справочниках, учебной литературе даны обозначения по **ОСТ**, поэтому в табл. 1.4 и 1.5 представлены сопоставления полей допусков по **ОСТ** и **ЕСДП**.

Таблица 1.4

Сопоставление полей допусков валов по **ОСТ** и **ЕСДП** для размеров от 1 до 500 мм

ОСТ	Г₁	Т₁	Н₁	П₁	С₁=В₁	Д₁	Х₁	Г	Т	Н	П
ЕСДП	n5	m5	k5	j _s 5	h5	g5	f6	n6	m6	k6	j _s 6

Продолжение табл. 1.4

ОСТ	C=B	Д	X	Л	Ш	ТХ	Г_{2а}	Т_{2а}	Н_{2а}	П_{2а}	C_{2а}=B_{2а}
ЕСДП	h6	g6	f7	e8	d8	c8	n7	m7	k7	j _s 9	h7
ОСТ	X_{2а}	C₃=B₃	X₃	Ш₃	C_{3а}=B_{3а}	C₄=B₄	X₄	Л₄	Ш₄	C₅=B₅	X₅
ЕСДП	f8	h8, h9	f9, e9	d9	h10	h11	d11	b11, c11	a11, b11	h12	b12
ОСТ	B₇	СМ₇	B₈	СМ₈	B₉	СМ₉	Пр2₁	Пр1₁	Гр	Пр	Пл
ЕСДП	h14	j _s 14	h15	j _s 15	h16	j _s 16	s5	r6	u7	r6, s6	p6, r6
ОСТ	Тх	Пр2_{2а}	Пр1_{2а}	Пр3₃	Пр2₃	Пр1₃					
ЕСДП	c8	u8	s7	z8, x8	x8, u8	u8, s7					

Таблица 1.5

Сопоставление полей допусков отверстий по ОСТ и ЕСДП для размеров от 1 до 500 мм

ОСТ	Г₁	Т₁	Н₁	П₁	C₁=A₁	Д₁	X₁	Г	Т	Н	П
ЕСДП	N6	M6	K6	J _s 6	H6	G6	F7	N7	M7	K7	J _s 7
ОСТ	C=A	Д	X	Л	Ш	Г_{2а}	Т_{2а}	Н_{2а}	П_{2а}	C_{2а}=A_{2а}	C₃=A₃
ЕСДП	H7	G7	F7, F8	E8	D8	N8	M8	K8	J _s 8	H8	H8, H9
ОСТ	X₃	Ш₃	C_{3а}=A_{3а}	C₄=A₄	X₄	Л₄	Ш₄	C₅=A₅	X₅	A₇	A₈
ЕСДП	F9, E9	D9, D10	H10	H11	D11	B11, C11	A11, B11	H12	B12	H14	H15
ОСТ	A₉	Гр	Пр	Пр2_{2а}							
ЕСДП	H16	U8, T7	R7, S7	U8							

1.7. Схематичное изображение полей допусков

Для упрощения допуски можно изображать графически в виде полей допусков. Поле допуска – пространство, ограниченное двумя линиями, соответствующими наибольшему и наименьшему размерам. Оно определяется величиной допуска и его положением относительно нулевой линии. **Нулевая линия** – это линия, соответствующая номинальному размеру соединения. Вверх от этой линии откладывают положительные отклонения, а вниз – отрицательные (рис. 1.5, 1.6).

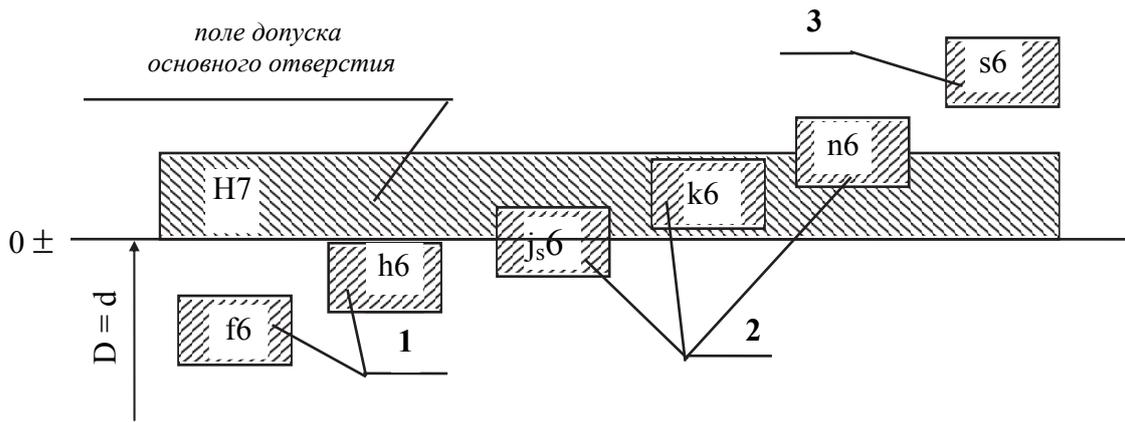


Рис. 1.5. Расположение полей допусков отверстий и валов в системе отверстия:
1 – с зазорами; 2 – переходных; 3 – с натягами

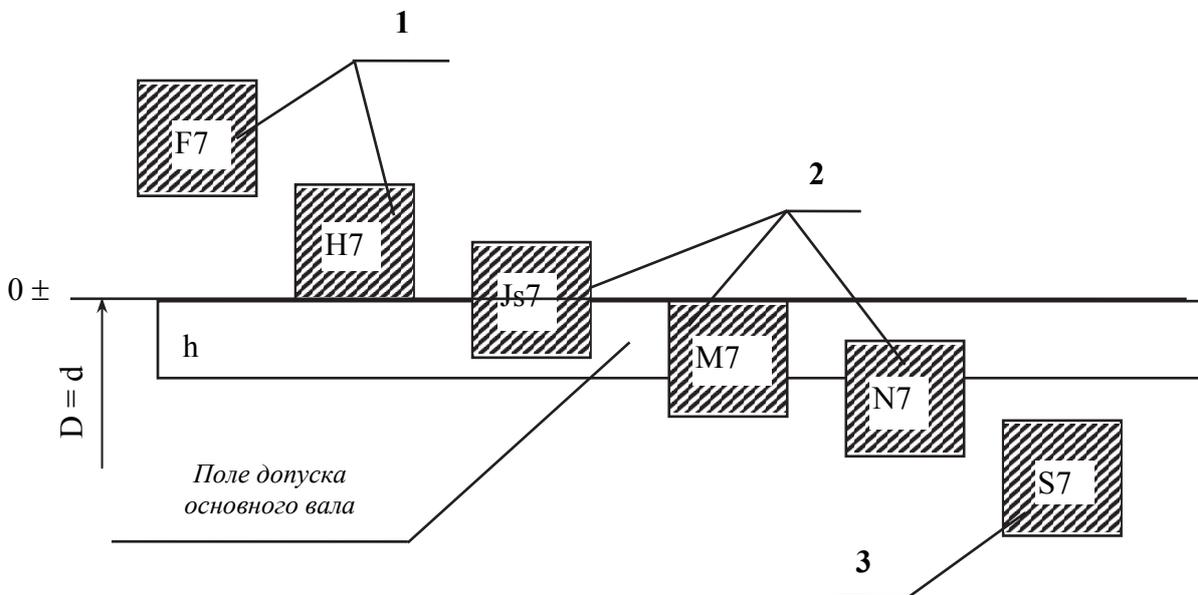


Рис. 1.6. Расположение полей допусков отверстий и валов в системе вала:
1 – с зазорами; 2 – переходных; 3 – с натягами

1.8. Условное обозначение предельных отклонений и посадок

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными (буквенными) обозначениями полей допусков или числовыми значениями предельных отклонений, а также буквенными обозначениями полей допусков с одновременным указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений (рис. 1.7, а – в).

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в собранном виде, указывают дробью: в числителе – буквенное обозначение поля допуска или числовые значения предельных отклонений отверстия либо буквенное обозначение поля допуска с указанием справа в скобках числовых значений предельных отклонений отверстия, в знаменателе – аналогичное обозначение поля допуска вала (рис. 1.7, *з*, *д*). Иногда для обозначения посадки указывают предельные отклонения только одной из сопрягаемых деталей (рис. 1.7, *е*).

В условных обозначениях полей допусков нужно обязательно указывать числовые значения предельных отклонений в следующих случаях:

– для размеров, не включенных в ряд нормальных линейных размеров, например 41,5 Н7(^{+0,025});

– при назначении предельных отклонений, условные обозначения которых не предусмотрены ГОСТ 25347-82, например для пластмассовой детали (см. рис. 1.7, *д*).

Предельные отклонения следует назначать для всех размеров, представленных на рабочих чертежах, включая несопрягаемые и неответственные размеры. Если предельные отклонения для размера не назначены, возможны лишние затраты (когда стремятся получить этот размер более точным, чем нужно) или увеличение массы детали.

Для линейных размеров от 1 до 10 000 мм неуказанные предельные отклонения назначают по **ГОСТ 30893.1-2002** ОНВ. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками.

Предельные отклонения линейных размеров (табл. 1.6), кроме размеров притупленных кромок (наружных радиусов скругления и высот фасок), нормируют по классам точности общих допусков:

точный – **f**; средний – **m**; грубый – **c**; очень грубый – **v**.

Таблица 1.6

Предельные отклонения некоторых линейных размеров, кроме размеров притупленных кромок (наружных радиусов скругления и высот фасок), мм

Класс точности	Предельные отклонения для интервалов номинальных размеров	
	св. 6 до 30	св. 30 до 120
Точный – f	±0,1	±0,15
Средний – m	±0,2	±0,3
Грубый – c	±0,5	±0,8
Очень грубый – v	±1,0	±1,5

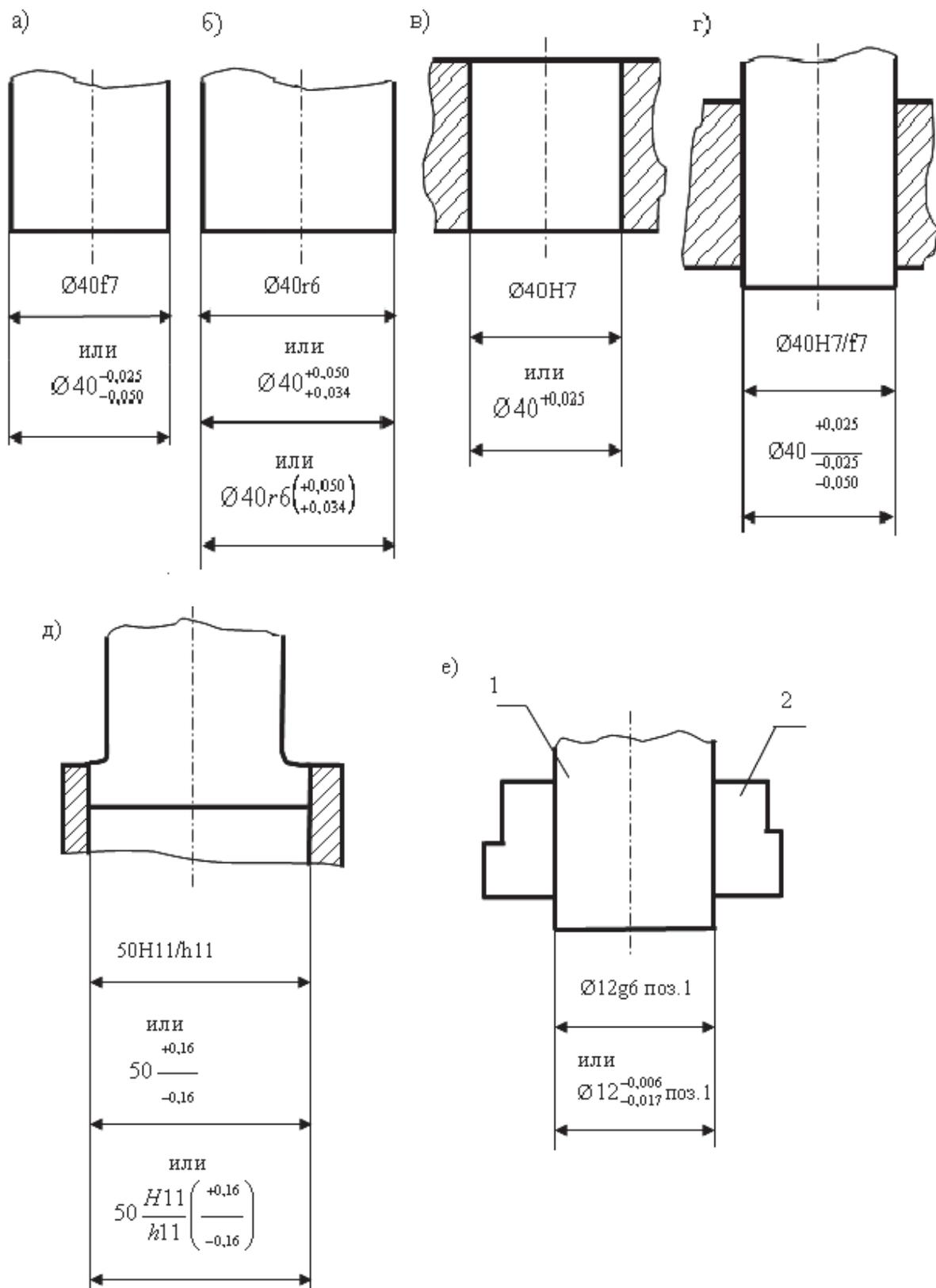


Рис. 1.7. Примеры обозначения полей допусков и посадок на чертежах

На чертежах неуказанные предельные отклонения размеров задаются текстом в виде технических условий, например для среднего класса точности:

«Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – m» или **«ГОСТ 30893.1 – m»**.

ГОСТ 30893.1 устанавливает **дополнительные варианты** назначения предельных отклонений линейных размеров с неуказанными допусками (табл. 1.7). Назначение дополнительных вариантов предельных отклонений линейных размеров с неуказанными допусками **при новом проектировании рекомендуется ограничить**.

Таблица 1.7

Дополнительные варианты неуказанных предельных отклонений линейных размеров

Дополнительный вариант	Класс точности	Обозначение предельных отклонений		
		размеров отверстий	размеров валов	размеров элементов, не относящихся к отверстиям и валам
1	Точный – f	H12	h12	$\pm t_1/2$ (или $\pm IT12/2$)
	Средний – m	H14	h14	$\pm t_2/2$ (или $\pm IT14/2$)
	Грубый – c	H16	h16	$\pm t_3/2$ (или $\pm IT16/2$)
	Оч. грубый – v	H17	h17	$\pm t_4/2$ (или $\pm IT17/2$)
2	Точный – f	+t ₁	-t ₁	$\pm t_1/2$
	Средний – m	+t ₂	-t ₂	$\pm t_2/2$
	Грубый – c	+t ₃	-t ₃	$\pm t_3/2$
	Оч. грубый – v	+t ₄	-t ₄	$\pm t_4/2$

Обозначение $\pm t_1/2$ соответствует обозначению **f**. Обозначение $\pm t_2/2$ соответствует обозначению **m**. Обозначение $\pm t_3/2$ соответствует обозначению **c**. Обозначение $\pm t_4/2$ соответствует обозначению **v**.

Обозначение неуказанных допусков по дополнительным вариантам (для класса точности – средний):

Вариант 1 – «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14, $\pm t_2/2$ »; «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H14, h14, $\pm IT14/2$ ».

Вариант 2 – «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: +t₂, -t₂, $\pm t_2/2$ ».

Кроме того, используется **ГОСТ 30893.2-2002** ОНВ. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально. Введён 01.01.2004.

Общие допуски цилиндричности, точности формы продольного сечения, наклона, перекоса осей, позиционного отклонения, полного радиального и торцевого биения, формы заданного профиля и формы заданной поверхности **не устанавливаются**. Отклонения этих видов косвенно ограничиваются допусками на линейные и угловые размеры или другими видами допусков формы и расположения, в том числе и общими.

Общий допуск круглости для элементов с неуказанными на чертеже предельными отклонениями размеров **равен допуску на диаметр**, но не должен превышать общий допуск на радиальное биение.

Классы точности для неуказанных предельных отклонений формы и расположения поверхностей: **H, K, L** (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Общие допуски прямолинейности и плоскостности для элементов с неуказанными на чертеже предельными отклонениями размеров, мм

Класс точности	Общие допуски прямолинейности и плоскостности для интервалов номинальных длин				
	до 10	св. 10 до 30	св. 30 до 100	св. 100 до 300	св. 300 до 1000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2

Указание на чертежах:

«Общие допуски формы и расположения – ГОСТ 30893.2 – K» или «ГОСТ 30893.2 – K»;

«Общие допуски ГОСТ 30893.2 – mK» или «ГОСТ 30893.2 – mK», где **m** – класс точности «средний» общих допусков размеров по ГОСТ 30893.1; **K** – класс точности допусков формы и расположения поверхностей.

1.9. Методы выбора посадок и области их применения

Выбор посадок производится в зависимости от назначения деталей и их поверхностей, условий работы соединения одним из трех методов.

1) **Метод прецедентов или аналогов.** Посадка выбирается по аналогии с посадкой в надежно работающем узле. Сложность метода заключается в оценке и сопоставлении условий работы посадки в проектируемом узле и аналоге.

2) **Метод подобия** – развитие метода прецедентов. Посадки выбираются на основании рекомендаций отраслевых технических документов и литературных источников. Недостатком метода является, как правило, отсутствие точных количественных оценок условий работы сопряжений.

3) **Расчетный метод** является наиболее обоснованным методом выбора посадок. Посадки рассчитываются на основании полуэмпирических зависимостей. Однако формулы не всегда учитывают сложный характер физических явлений, происходящих в соединении.

В любом случае новые опытные образцы изделий перед запуском в серийное производство проходят целый ряд испытаний, по результатам которых отдельные посадки могут быть подкорректированы. Квалификация конструктора, в частности, определяется и тем, потребовалась ли корректировка посадок в разработанном им узле.

Применение посадок с зазором. Посадки **H/h** – «скользящие». Наименьший зазор в посадках равен нулю. Они установлены во всем диапазоне точностей сопрягаемых размеров (с 4-го по 12-й квалитеты). В точных квалитетах они применяются как центрирующие посадки, т.е. обеспечивают высокую степень совпадения оси вала с осью сопрягаемого с ним отверстия. Допускают медленное вращение и продольное перемещение, чаще всего используемое при настройках и регулировках.

Посадка **H7/h6*** применяется в неподвижных соединениях при высоких требованиях к точности центрирования часто разбираемых деталей: сменные зубчатые колеса на валах, фрезы на оправках, центрирующие корпуса под подшипники качения, сменные кондукторные втулки и т.д. Для подвижных соединений применяется посадка шпинделя в корпусе сверлильного станка.

* – предпочтительная посадка.

Посадки **H8/h7***, **H8/h8*** имеют примерно то же назначение, что и посадка H7/h6, но характеризуются более широкими допусками, облегчающими изготовление детали.

Посадки **H/h** в более грубых квалитетах (с 9-го по 12-й) предназначены для неподвижных и подвижных соединений малой точности. Применяются для посадки муфт, звездочек, шкивов на валы, для неотчетственных шарниров, роликов и т.п.

Посадки **H/g**, **G/h** – «движения». Обладают минимальным по сравнению с другими посадками гарантированным зазором. Установлены только в точных квалитетах с 4-го по 7-й. Применяются для плавных, чаще всего возвратно-поступательных перемещений, допускают медленное вращение при малых нагрузках.

Посадки **H6/g5**, **H7/g6*** применяются в плунжерных и золотниковых парах, в шпинделе делительной головки и т.п.

Посадки **H/f**, **F/h** – «ходовые». Характеризуются умеренным гарантированным зазором. Применяются для обеспечения свободного вращения в подшипниках скольжения общего назначения при легких и средних режимах работы со скоростями не более 150 рад/с и в опорах поступательного перемещения.

Посадки **H7/f7***, **H8/f8** применяются в подшипниках скольжения коробок передач различных станков, в сопряжениях поршня с цилиндром в компрессорах, в гидравлических прессах и т.п.

Посадки **H/e**, **E/h** – «легкоходовые». Обладают значительным гарантированным зазором, вдвое большим, чем у ходовых посадок. Применяются для свободного вращательного движения при повышенных режимах работы со скоростями более 150 рад/с, а также для компенсации погрешностей монтажа и деформаций, возникающих во время работы.

Посадки **H7/e8***, **H8/e8*** применяются для подшипников жидкостного трения турбогенераторов, больших электромашин, коренных шеек коленчатых валов.

Посадки **H/d**, **D/h** – «широкоходовые». Характеризуются большим гарантированным зазором, позволяющим компенсировать значительные отклонения расположения сопрягаемых поверхностей и температурные деформации и обеспечить свободное перемещение деталей или их регулировку и сборку.

Посадки **H8/d9***, **H9/d9*** применяются для соединений при невысоких требованиях к точности, для подшипников трансмиссионных валов, для поршней в цилиндрах компрессоров.

Посадка **H11/d11*** применяется для крышек подшипников и распорных втулок в корпусах, для шарниров и роликов на осях.

Применение переходных посадок. Переходные посадки применяются только в точных квалитетах – с 4-го по 8-й, используются как центрирующие и предназначены для неподвижных, но разъемных соединений, так как обеспечивают легкую сборку и разборку, требуют, как правило, дополнительного крепления соединяемых деталей шпонками, штифтами, болтами и т.п.

Посадки **H/j_s**, **J_s/H** – «плотные». Вероятность получения натяга $N \approx 0,5...5 \%$, и, следовательно, в сопряжении образуются преимущественно зазоры. Обеспечивают легкую собираемость.

Посадка **H7/j_{s6*}** применяется для сопряжения стаканов подшипников с корпусами, небольших шкивов и ручных маховиков с валами.

Посадки **H/k**, **K/h** – «напряженные». Вероятность получения натяга $N \approx 24...68 \%$. Однако из-за влияния отклонений формы, особенно при большой длине соединения, зазоры в большинстве случаев не ощущаются. Обеспечивают хорошее центрирование. Сборка и разборка производится без значительных усилий, например при помощи ручных молотков.

Посадка **H7/k6*** широко применяется для сопряжения зубчатых колес, шкивов, маховиков, муфт с валами.

Посадки **H/m**, **M/h** – «тугие». Вероятность получения натяга $N \approx 60...99,98 \%$. Обладают высокой степенью центрирования. Сборка и разборка осуществляется при значительных усилиях. Разбираются, как правило, только при ремонте.

Посадка **H7/m6** применяется для сопряжения зубчатых колес, шкивов, маховиков, муфт с валами, для установки тонкостенных втулок в корпуса, кулачков на распределительном валу.

Посадки **H/n**, **N/h** – «глухие». Вероятность получения натяга $N \approx 88...100 \%$. Обладают высокой степенью центрирования. Сборка и разборка осуществляется при значительных усилиях: применяются прессы. Разбираются, как правило, только при капитальном ремонте.

Посадка **H7/n6*** применяется для сопряжения тяжело нагруженных зубчатых колес, муфт, кривошипов с валами, для установки постоянных кондукторных втулок в корпусах кондукторов, штифтов и т.п.

Применение посадок с натягом. Они используются для передачи крутящих моментов и осевых сил без дополнительного крепления, а иногда для создания предварительно напряженного состояния у сопрягаемых деталей.

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.

Преимущество посадок – отсутствие дополнительного крепления, что упрощает конфигурацию деталей и их сборку. Посадки обеспечивают высокую нагрузочную способность сопряжения, которая резко возрастает с увеличением диаметра сопряжения. В то же время прочность и качество сопряжения зависят от материала сопрягаемых деталей, шероховатостей их поверхностей, формы, способа сборки (сборка под прессом или способ термических деформаций) и т.п.

Посадки **H/p**, **P/h** – «легкопрессовые». Имеют минимальный гарантированный натяг. Обладают высокой степенью центрирования. Применяются, как правило, с дополнительным креплением.

Посадка **H7/p6*** применяется для сопряжения тяжело нагруженных зубчатых колес, втулок, установочных колец с валами, для установки тонкостенных втулок и колец в корпуса.

Посадки **H/r**, **H/s**, **H/t**, **R/h**, **S/h**, **T/h** – «прессовые средние». Имеют умеренный гарантированный натяг в пределах $N \approx (0,0002...0,0006)D$. Применяются как с дополнительным креплением, так и без него. При сопряжении возникают, как правило, упругие деформации.

Посадки **H7/r6***, **H7/s6*** применяются для сопряжения зубчатых и червячных колес с валами в условиях тяжелых ударных нагрузок с дополнительным креплением (для стандартных втулок подшипников скольжения предусмотрена посадка H7/r6).

Посадки **H/u**, **H/x**, **H/z** и **U/h** – «прессовые тяжелые». Имеют большой гарантированный натяг в пределах $N \approx (0,001...0,002)D$. Предназначены для соединений, на которые воздействуют большие, в том числе и динамические нагрузки. Применяются, как правило, без дополнительного крепления соединяемых деталей. В сопряжении возникают упругопластические деформации. Детали должны быть проверены на прочность.

Посадки **H7/u7**, **H8/u8** наиболее распространенные из числа тяжелых посадок. Примеры применения: вагонные колеса на осях, бронзовые венцы червячных колес на стальных ступицах, пальцы эксцентриксов и кривошипов с дисками.

1.10. Задачи к самостоятельной работе

1) Определить значение допуска, наибольший и наименьший предельные размеры по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям по следующим вариантам:

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
Размер и отклонения, мм	$2,5^{+0,02}$	$4 \pm 0,004$	$18^{+0,016}_{+0,010}$	$3,2_{-0,08}$	$12^{-0,045}_{-0,105}$

Параметр	Вариант				
	6	7	8	9	0
Размер и отклонения, мм	$25^{+0,013}_{-0,008}$	$15^{-0,007}_{-0,032}$	$25^{+0,145}_{+0,100}$	$25^{+0,14}$	$32 \pm 0,034$

2) Определить верхнее и нижнее предельные отклонения вала по заданным номинальным и предельным размерам для следующих вариантов:

Размер, мм	Вариант				
	1	2	3	4	5
d	4	10	16	5	8
d_{\max}	4,009	10	15,980	5,004	8,050
d_{\min}	4,001	9,984	15,930	4,996	7,972

Размер, мм	Вариант				
	6	7	8	9	0
d	12	25	32	125	20
d_{\max}	11,940	25,007	31,975	125	20,056
d_{\min}	11,820	24,993	31,950	124,920	20,035

3) Изобразить графически поля допусков валов по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям для следующих вариантов:

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d, мм	125	160	140	220	180	250	200	320	360	450
es, мкм	+40	0	+14	+230	-50	+45	0	-70	0	+20
ei, мкм	+13	-27	-14	+140	-90	+15	-300	-125	-35	-20

4) Изобразить графически поля допусков отверстий по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям для следующих вариантов:

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D, мм	10	50	12	80	1	110	20	125	100	25
ES, мкм	+100	+250	-22	+20	-3	+230	+3	+450	-93	+16
EI, мкм	0	+80	-48	-10	-30	0	-36	+150	-140	-7

5) Определить годность валов по результатам их измерения для следующих вариантов:

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
Номинальный размер и предельные отклонения, мм	$100_{-0,075}^{-0,040}$	$105_{-0,023}$	$125_{+0,004}^{+0,030}$	$100 \pm 0,012$	$85_{+0,190}^{+0,260}$
Действительный размер, мм	99,958	105,002	125,005	100,009	85,2

Параметр	Вариант				
	6	7	8	9	0
Номинальный размер и предельные отклонения, мм	$24_{-0,14}$	$75_{-0,030}^{-0,010}$	$35_{+0,06}^{+0,11}$	$95_{-0,46}$	$315_{-1,00}^{-0,34}$
Действительный размер, мм	23,98	74,87	35,07	95	314,47

6) Определить годность отверстий по результатам измерений, установить вид брака (неисправимый или исправимый) для следующих вариантов:

Параметр	Вариант				
	1	2	3	4	5
Номинальный размер и предельные отклонения, мм	$2^{+0,12}$	$40^{+0,060}$	$71_{-0,03}$	$4_{-0,004}^{+0,009}$	$85^{+0,07}$
Действительный размер, мм	1,95	40,038	71,002	3,996	85

Параметр	Вариант				
	6	7	8	9	0
Номинальный размер и предельные отклонения, мм	$8_{-0,020}^{-0,004}$	$220_{-0,060}^{-0,015}$	$180_{-0,04}$	$105_{+0,04}^{+0,09}$	$160_{-0,014}^{+0,027}$
Действительный размер, мм	7,965	219,980	180,02	105,042	159,981

7) Определить возможные наибольший и наименьший зазор или натяг в сопряжениях по номинальным размерам и предельным отклонениям для следующих вариантов:

Деталь сопряжения	Вариант				
	1	2	3	4	5
Отверстие	$10^{+0,03}$	$50^{+0,05}$	$80^{+0,06}$	$110^{+0,035}$	$100^{+0,035}$
Вал	$10_{-0,03}$	$50_{+0,065}^{+0,115}$	$80_{-0,12}^{-0,04}$	$110 \pm 0,012$	$100_{-0,035}$

Деталь сопряжения	Вариант				
	6	7	8	9	0
Отверстие	$16^{+0,019}$	$250_{+0,18}^{+0,33}$	$25^{+0,045}$	$12^{+0,03}$	$20_{+0,06}^{+0,13}$
Вал	$16 \pm 0,06$	$250_{-0,09}$	$25_{+0,055}^{+0,100}$	$12_{-0,03}^{+0,02}$	$20_{-0,045}$

8) Решить задачи по следующим вариантам:

Вариант	Условия задачи
1	$\varnothing 15 \frac{H7}{p6}$ Дано: $N_{\min} = 0$; $N_{\max} = 0,029$ мм; $TD = 0,018$ мм. Определить: ES, EI, es, ei, Td . $\varnothing 48 \frac{S7}{h7}$ Дано: $TD = 0,025$ мм; $N_{\max} = 0,059$ мм. Определить: ES, EI, es, ei .
2	$\varnothing 46 \frac{H12}{b12}$ Дано: $S_{\min} = 0,18$ мм; $TD = 0,25$ мм; $TS = 0,50$ мм. Определить: ES, EI, es, ei . $\varnothing 8 \frac{N9}{h9}$ Дано: $S_{\max} = 0,036$ мм; $N_{\max} = 0,036$ мм. Определить: ES, EI, es, ei .
3	$\varnothing 100 \frac{U8}{h7}$ Дано: $N_{\max} = 0,178$ мм; $N_{\min} = 0,089$ мм; $Td = 0,035$ мм. Определить: ES, EI, es, ei . $\varnothing 90 \frac{-0,010}{-0,045}$ $-0,022$ Определить: $D_{\max}, D_{\min}, d_{\max}, d_{\min}, TD, Td$, зазоры или натяги.
4	$\varnothing 72 \frac{H9}{v7}$ Дано: $TD = 0,074$ мм; $Td = 0,030$ мм; $N_{\max} = 0,150$ мм. Определить: ES, EI, es, ei . $\varnothing 65 \frac{B12}{h11} \begin{pmatrix} +0,400 \\ +0,190 \\ -0,190 \end{pmatrix}$ Определить: $S_{\max}, S_{\min}, TD, Td$.
5	$\varnothing 80 \frac{H9}{h9}$ Дано: $S_{\max} = 0,174$ мм. Определить: ES, EI, es, ei, Td, TD . $\varnothing 35 \frac{H7}{k6} \begin{pmatrix} +0,025 \\ +0,018 \\ +0,002 \end{pmatrix}$ Определить: $D_{\max}, D_{\min}, d_{\max}, d_{\min}, TD, Td$, зазоры или натяги.
6	$\varnothing 50 \frac{Js7}{h7}$ Дано: $T(S,N) = 0,048$ мм. Определить: ES, EI, es, ei . $\varnothing 24 \begin{pmatrix} +0,021 \\ +0,007 \\ -0,007 \end{pmatrix}$ Определить: $TD, Td, D_{\max}, D_{\min}$, зазоры или натяги.
7	$\varnothing 38 \frac{H8}{e8}$ Дано: $S_{\max} = 0,114$ мм; $S_{\min} = 0,050$ мм. Определить: ES, EI, es, ei, Td, TD . $\varnothing 30 \frac{F8}{h7}$ Дано: $S_{\min} = 74$ мкм; $TD = 33$ мкм; $Td = 21$ мкм. Определить: ES, EI, es, ei, S_{\max} .

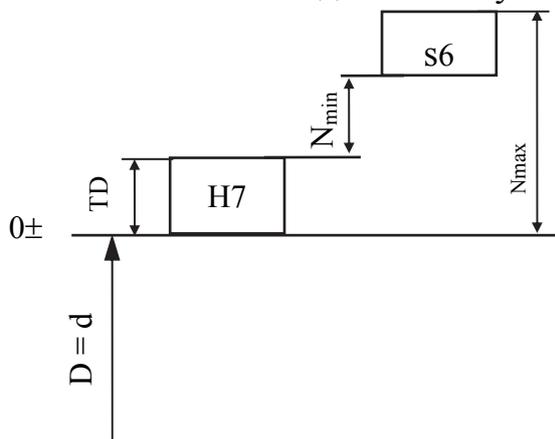
Вариант	Условия задачи
8	$\varnothing 50 \frac{Js7}{h6}$ Дано: $S_{\max} = 0,028$ мм; $Td = 0,016$ мм. Определить: ES, EI, es, ei, TD. $\varnothing 110 \frac{H9}{x8}$ Дано: $N_{\max} = 264$ мкм; $TD = 87$ мкм; $Td = 54$ мкм. Определить: N_{\min} , ES, EI, es, ei.
9	$\varnothing 70 \frac{H7}{g6}$ Дано: $S_{\max} = 0,048$ мм; $S_{\min} = 0,010$ мм; $TD = 0,019$ мм. Определить: ES, EI, es, ei, Td. $\varnothing 45 \frac{H7}{r6}$ Дано: $N_{\max} = 50$ мкм; $TD = 25$ мкм; $Td = 16$ мкм. Определить: N_{\min} , ES, EI, es, ei.
0	$\varnothing 38 \frac{H12}{a11}$ Дано: $S_{\max} = 720$ мкм; $Td = 160$ мкм; $S_{\min} = 160$ мкм. Определить: ES, EI, es, ei, TD. $\varnothing 40 \frac{U8}{h7}$ Дано: $TD = 0,039$ мм; $Td = 0,025$ мм; $N_{\min} = 0,035$ мм. Определить: ES, EI, es, ei, N_{\max} .

1.11. Примеры решения задач

1) $\varnothing 48 \frac{H7}{s6}$; Дано: $TD = 0,025$ мм; $N_{\min} = 0,018$ мм; $N_{\max} = 0,059$ мм.

Определить: ES, EI, es, ei.

Решение. Построим для заданной посадки схему полей допусков и обозначим на схеме данные по условию задачи:



$EI = 0$, по условию, так как отверстие основное; тогда $ES = TD = +0,025$ мм.

$ei = + (TD + N_{\min}) = +0,043$ мм;

$es = + N_{\max} = +0,059$ мм.

Ответ: $EI = 0$; $ES = +0,025$ мм;

$ei = +0,043$ мм; $es = +0,059$ мм.

2) $\varnothing 50 \frac{F8}{h8}$; Дано: $S_{\max} = 0,103$ мм; $S_{\min} = 0,025$ мм.

Определить: ES, EI, es, ei.

Решение. Построим для заданной посадки схему полей допусков и обозначим на схеме данные по условию задачи:

$es = 0$, по условию, так как вал основной;

$$S_{\max} - S_{\min} = TD + Td \text{ (раздел 1.3);}$$

$TD = Td$, по условию, так как квалитеты одинаковые, тогда $TD + Td = 0,078$ мм.

$$TD = Td = 0,078 / 2 = 0,039 \text{ мм.}$$

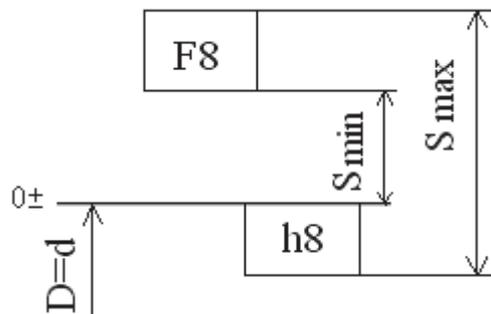
$$ei = -0,039 \text{ мм.}$$

$S_{\min} = EI - es$, так как $es = 0$,
 $EI = +0,025$ мм.

$$ES = S_{\min} + TD = 0,025 + 0,039 = 0,064 \text{ мм.}$$

Ответ: $ES = +0,064$ мм; $EI = +0,025$ мм;

$$es = 0; ei = -0,039 \text{ мм.}$$



2. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

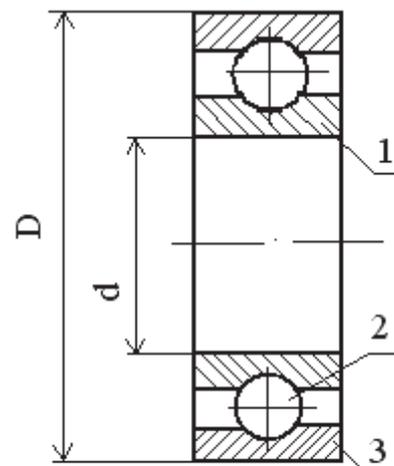
2.1. Классы точности и поля допусков подшипников

Подшипник качения представляет собой сложный узел (рис. 2.1), состоящий из внутреннего 1 и наружного 3 колец, тел качения 2, которыми являются шарики, ролики или иглы. Посадочные размеры, по которым подшипник качения соединяется с валом и корпусом, следующие: внутренний диаметр d внутреннего кольца и наружный диаметр D наружного кольца.

Подшипники качения являются стандартными изделиями, которые изготавливают на специализированных подшипниковых заводах. Они обладают **полной внешней взаимозаменяемостью** по присоединительным поверхностям колец и **ограниченной внутренней взаимозаменяемостью** между телами качения и кольцами. Комплекты шариков, роликов и кольца подшипников подбирают селективным методом.

Основные присоединительные размеры подшипников качения, по которым они монтируются на валах (осях) и в корпусах машин и приборов, установлены **ГОСТ 520-2002**.

По ГОСТ 520-2002 на подшипники установлены **классы точности**, которые характеризуются значениями предельных отклонений размеров, формы, взаимного положения поверхно-



- 1 - внутреннее кольцо;
- 2 - тела качения;
- 3 - наружное кольцо

Рис. 2.1. Подшипник

стей. Для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников установлены следующие классы в порядке повышения точности:

8, 7, нормальный, 6, 5, 4, Т, 2.

Допуски подшипников 8 и 7-го классов точности устанавливаются в нормативных документах.

Для роликовых конических подшипников установлены классы точности:

8, 7, 0, нормальный, 6Х, 6, 5, 4, 2.

Для упорных и упорно-радиальных подшипников установлены классы:

8, 7, нормальный, 6, 5, 4, 2.

В большинстве узлов машин применяют подшипники качества «нормального» класса точности.

Класс точности «нормальный» соответствует классу точности 0 (нуль).

Класс точности проставляется перед обозначением подшипника (класс «0» не указывается), например: 5-208 или 208.

В общем машиностроении в основном используются подшипники 0 и 6 классов точности. В подшипниках качества оба кольца принимают в качестве основных деталей системы допусков, т.е. **соединение «внутреннее кольцо – вал» выполняется в системе основного отверстия; соединение «наружное кольцо – корпус» выполняется в системе основного вала.**

Предельные отклонения для подшипников качества назначают на средние диаметры посадочных поверхностей, которые обозначают: D_m , d_m .

Основное отклонение для среднего диаметра отверстия подшипника обозначают L . Основное отклонение для среднего наружного диаметра подшипника обозначают l .

Поля допусков (ID_m и Ld_m) посадочных размеров подшипника (рис. 2.2) расположены одинаково в «минус» от их номинальных средних диаметров (D_m и d_m), т.е. верхнее отклонение равно нулю.

Поле допуска на наружный диаметр кольца подшипника (ID_m) располагается аналогично полю допуска основного вала h и обозначается: $I0$, $I6$, $I5$, $I4$, $I2$ (в зависимости от класса точности).

Поле допуска на внутренний диаметр (Ld_m) располагается не в «плюс» (как для основного отверстия H), а в «минус» от нулевой линии и обозначается: $L0$, $L6$, $L5$, $L4$, $L2$. Такое перевернутое расположение поля допуска позволяет получать с небольшим гарантированным натягом соединения подшипника с вращающимся валом, не прибегая к специальным посадкам, а используя для валов стандартные поля допусков переходных посадок (js , k , m , n) 4 – 6 квалитетов.

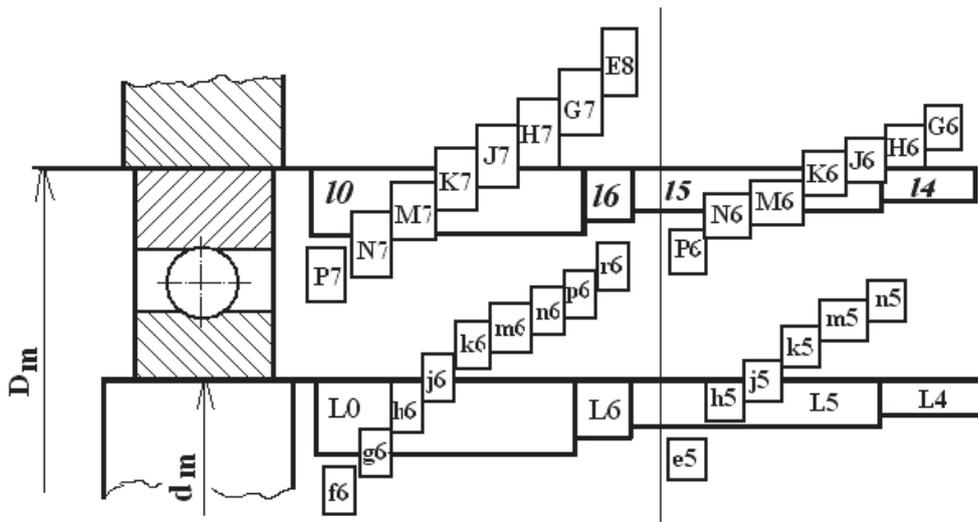


Рис. 2.2. Поля допусков деталей подшипникового соединения

Посадки с большими натягами не применяют из-за тонкостенной конструкции колец подшипников.

Предельные отклонения диаметров даны отдельно для наружных и внутренних колец для средних диаметров (d_m или D_m), для номинальных диаметров (d или D).

2.2. Виды нагружения колец подшипника. Выбор посадок

При назначении посадок колец подшипника на вал и в отверстие корпуса следует учитывать условия работы механизма: какая деталь вращается (вал или корпус), число оборотов вращающейся детали, характер нагрузки (величину, направление и характер действующих на подшипник нагрузок), режим работы (легкий, средний, тяжелый), а также класс точности, тип и размеры подшипника, условия его установки и эксплуатации, требования к точности вращения и т.п.

С вращающейся деталью кольцо подшипника должно соединяться по посадке с натягом (для исключения обкатки и проскальзывания), а с неподвижной деталью – по посадке с небольшим зазором (для обеспечения регулировки подшипника и компенсации температурных расширений валов или корпусов).

В зависимости от условий работы различают три вида нагружения колец: *местное*, *циркуляционное* и *колебательное* (рис. 2.3).

При местном нагружении (рис. 2.3, а) кольцо воспринимает результирующую радиальную нагрузку (Fr) одним ограниченным участком дорожки качения и передает её соответствующему участку посадочной поверхности вала или корпуса (кольцо неподвижно).

При циркуляционном нагружении (рис. 2.3, б) кольцо воспринимает действующую на подшипник результирующую радиальную нагрузку (F_r) последовательно всей поверхностью дорожки качения и передает ее последовательно всей посадочной поверхности вала или корпуса (кольцо вращается).

При колебательном нагружении (рис. 2.3, в) неподвижное кольцо воспринимает ограниченным участком дорожки качения равнодействующую (F_{r+c}) двух радиальных нагрузок: постоянной по направлению (F_r) и вращающейся (F_c), причем $F_r > F_c$. Равнодействующая F_{r+c} совершает колебательное движение.

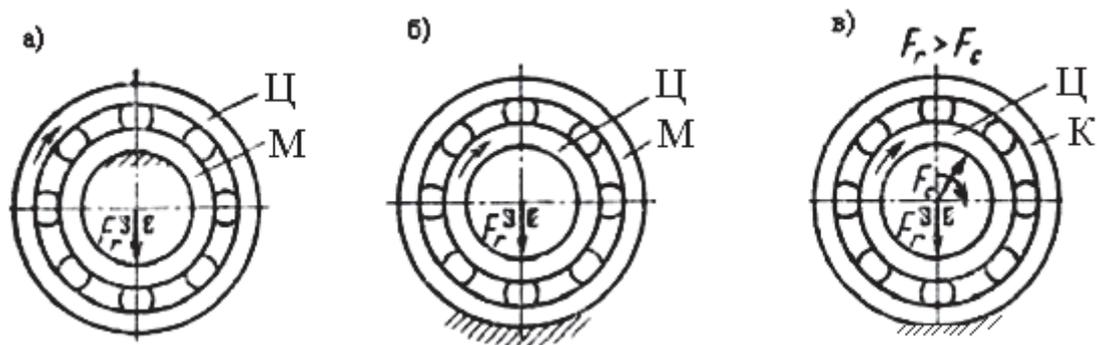


Рис. 2.3. Схемы нагружения колец подшипника:

- а – внутреннее кольцо неподвижно, нагрузка постоянная;
- б – внутреннее кольцо вращается, нагрузка постоянная;
- в – наружное кольцо неподвижно, нагрузка постоянная и вращающаяся

В зависимости от вида нагружения колец шариковых и роликовых подшипников в табл. 2.1 приведены рекомендуемые поля допусков посадочных мест валов и отверстий корпусов.

Таблица 2.1

Поля допусков посадочных мест валов и отверстий корпусов

Вид нагружения колец	Класс точности подшипника	Поля допусков	
		вала	отверстия корпуса
Местное	0, 6	f6, g6, h6, js6,	G7, H7, H8, H9, Js7
	5, 4	h5, js5	M6, Js6
Циркуляционное	0, 6	js6, k6, m6, n6, js5, k5,	K7, M7, N7, P7
	5, 4	m5, n5	K6, M6, N6
Колебательное	0, 6	js6	Js7
	5, 4	js5	Js6

Примеры обозначения посадок подшипников качения на чертежах:

– подшипник класса точности 0 на вал с номинальным диаметром $d = 50$ мм, с симметричным расположением поля допуска вала j_s6

$$\varnothing 50L0/j_s6 \text{ (или } \varnothing 50 L0 - j_s6, \text{ или } \varnothing 50 \frac{L0}{j_s6} \text{);}$$

– то же в отверстие корпуса с номинальным диаметром 90 мм, с полем допуска H7

$$\varnothing 90H7/10 \text{ (или } \varnothing 90H7 - 10, \text{ или } \varnothing 90 \frac{H7}{10} \text{)}.$$

Допускается на сборочных чертежах подшипниковых узлов **указывать** размер, поле допуска или предельные отклонения на **диаметр, сопряженный с подшипником**, например для вала $\varnothing 50j_6$ и для отверстия в корпусе $\varnothing 90H7$.

2.3. Задачи к самостоятельной работе

1) Выбрать и рассчитать посадки на соединения подшипника с корпусом и валом.

2) Назначить отклонения формы и шероховатость посадочных поверхностей. Построить схемы полей допусков соединений.

3) Начертить эскизы деталей и узла подшипникового соединения с указанием шероховатости поверхности и отклонений формы.

Задачи выполнить для следующих вариантов:

Вариант	Класс точности подшипника	Диаметр кольца, мм		Узел	Режим работы
		внутреннего d_m	наружного D_m		
1	6	100	180	Передний мост автомобиля, вращается корпус	Нормальный
2	6	60	130	Электродвигатель N = 80 кВт, вращается вал	Тяжелый
3	0	45	100	Коробка скоростей токарного станка, вращается вал	Нормальный
4	0	70	90	Редуктор, вращается вал	Нормальный
5	6	90	190	Шлифовальный шпиндель, вращаются вал и корпус	Нагрузки переменные
6	6	150	225	Передние колеса автомашин, вращается корпус	Нормальный
7	0	100	125	Узел трактора, вращается вал	Нормальный
8	6	80	100	Колеса трамваев, вращается вал	Нагрузка динамическая
9	0	40	90	Коробка передач трактора, вращается вал	Нормальный
0	6	50	110	Ролики ленточного транспортера, вращается корпус	Нормальный

2.4. Пример решения задачи

Выбрать и рассчитать посадки на соединения подшипника с корпусом и валом в узле редуктора. Назначить отклонения формы и шероховатость посадочных поверхностей. Построить схемы полей допусков соединений. Начертить эскиз узла и деталей соединения подшипника с простановкой посадок, отклонений формы, шероховатости поверхностей.

Условие: подшипник шариковый, радиальный, $d = 150$ мм, $D = 190$ мм, вращается вал, режим работы – нормальный, класс точности 0.

Решение:

1) Определяем предельные отклонения поля допуска внутреннего кольца подшипника L_0 , предельные размеры кольца при $d_m = 150$ мм (приложение 1):

$$\begin{aligned} ES &= 0; & EI &= -25 \text{ мкм}; \\ d_{m \max} &= 150 \text{ мм}; & d_{m \min} &= 149,975 \text{ мм}; \\ Td_m &= 0,025 \text{ мм}. \end{aligned}$$

2) Определяем предельные отклонения поля допуска наружного кольца подшипника l_0 , предельные размеры кольца при $D_m = 190$ мм (приложение 2):

$$\begin{aligned} es &= 0; & ei &= -30 \text{ мкм}; \\ D_{m \max} &= 190 \text{ мм}; & D_{m \min} &= 189,97 \text{ мм}; \\ TD_m &= 0,030 \text{ мм}. \end{aligned}$$

3) Определяем вид нагружения колец. Так как вращается вал, а корпус неподвижен (т.е. внутреннее кольцо вращается, а наружное неподвижно), то внутреннее кольцо нагружено циркуляционно, наружное – местно.

4) Определяем поля допусков посадочных поверхностей (приложения 3, 4):

вал – **n6**, отверстие в корпусе – **H7**;

соединение:

внутреннее кольцо – вал $\varnothing 150 \frac{L_0}{n6}$; наружное кольцо – корпус $\varnothing 190 \frac{H7}{l_0}$.

5) Определяем предельные отклонения посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса и их предельные размеры (приложения 5 – 8):

вал $\varnothing 150$ n6

$$\begin{aligned} es &= +52 \text{ мкм}; & ei &= +27 \text{ мкм}; \\ d_{\max} &= 150,052 \text{ мм}; & d_{\min} &= 150,027 \text{ мм}; \\ Td &= es - ei = 25 \text{ мкм}; \end{aligned}$$

отверстие $\varnothing 190$ H7

$$\begin{aligned} ES &= +46 \text{ мкм}; & EI &= 0; \\ D_{\max} &= 190,046 \text{ мм}; & D_{\min} &= 190 \text{ мм}; \\ TD &= ES - EI = 46 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

6) Определяем предельные зазоры и натяги соединений.

Внутреннее кольцо – вал ($\frac{L0}{n6}$) – посадка в системе отверстия с натягом:

$$N_{\max} = d_{\max} - d_{m \min} = 150,052 - 49,975 = 0,077 \text{ мм};$$

$$N_{\min} = d_{\min} - d_{m \max} = 150,027 - 150 = 0,027 \text{ мм};$$

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = 0,077 - 0,027 = 0,05 \text{ мм};$$

$$TN = Td_m + Td = 0,025 + 0,025 = 0,05 \text{ мм}.$$

Наружное кольцо – корпус ($\frac{H7}{I0}$) – посадка в системе вала с зазором:

$$S_{\max} = D_{\max} - D_{m \min} = 190,046 - 189,97 = 0,076 \text{ мм};$$

$$S_{\min} = D_{\min} - D_{m \max} = 190 - 190 = 0 \text{ мм};$$

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,076 \text{ мм};$$

$$TS = TD_m + TD = 0,030 + 0,046 = 0,076 \text{ мм}.$$

7) Определяем шероховатость посадочных поверхностей (приложение 9):

вала – $R_a = 2,5$ мкм; отверстия – $R_a = 2,5$ мкм;

торцы заплечиков валов и отверстий корпусов – $R_a = 2,5$ мкм.

Отклонение от цилиндричности составляет 20 % от допуска на размер:

$Td = 25$ мкм, поэтому допуск цилиндричности вала равен 0,005 мм;

$TD = 46$ мкм, поэтому допуск цилиндричности отверстия равен 0,010 мм.

8) Построим схемы полей допусков деталей подшипникового соединения, обозначим зазоры и натяги (рис. 2.4).

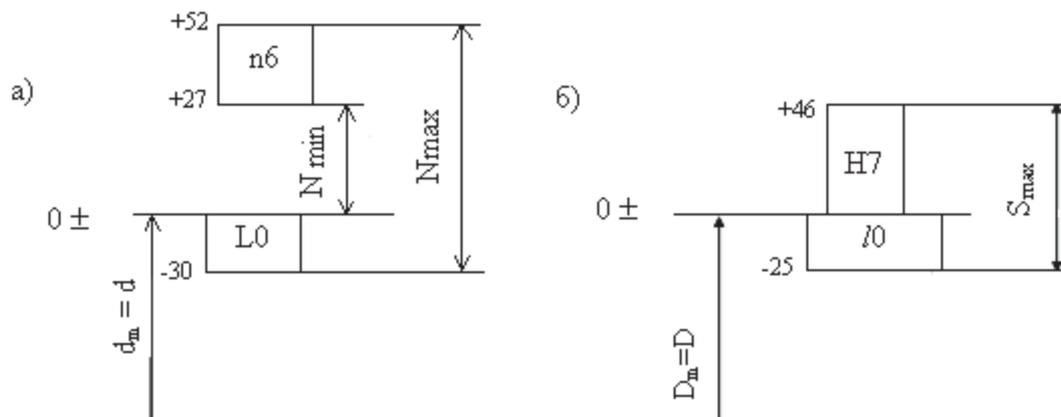


Рис. 2.4. Поля допусков деталей подшипникового соединения:
а – «внутреннее кольцо – вал»; б – «наружное кольцо – корпус»

9) Выполним чертежи деталей подшипникового соединения и сборочный чертеж (рис. 2.5).

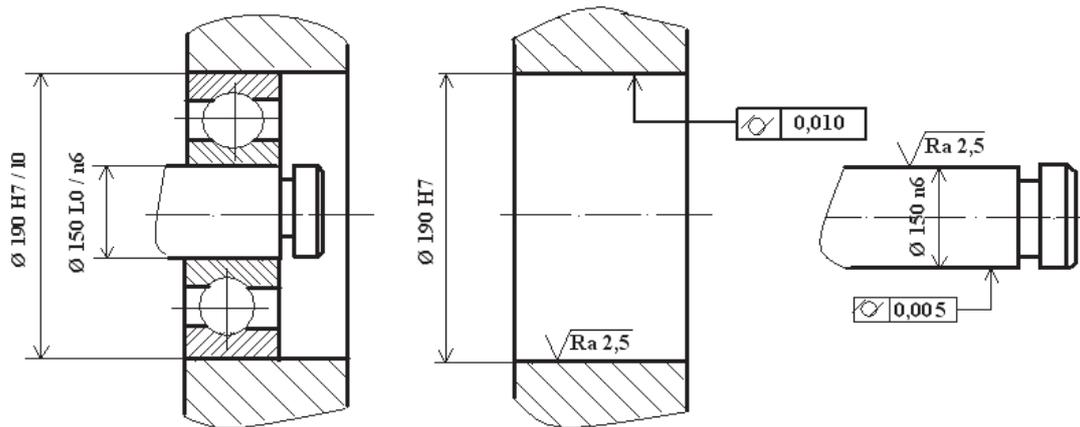


Рис. 2.5. Эскиз подшипникового узла и детали подшипникового соединения

3. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. Допуски и посадки шпоночных соединений

Шпоночное соединение – это соединение с валом различных деталей (зубчатых колес, муфт, роликов, маховиков, втулок и др.) с помощью шпонки, которая входит в пазы вала и втулки.

Шпонки служат для передачи крутящего момента, предотвращения проворачивания втулки на валу, обеспечения фиксации взаимного положения деталей в узле; с их помощью достигается сравнительно легкая разборка и сборка узла при небольших требованиях к точности центрирования соединяемых деталей.

В машиностроении наиболее распространены шпоночные соединения с **призматическими** (рис. 3.1) и **сегментными** шпонками.

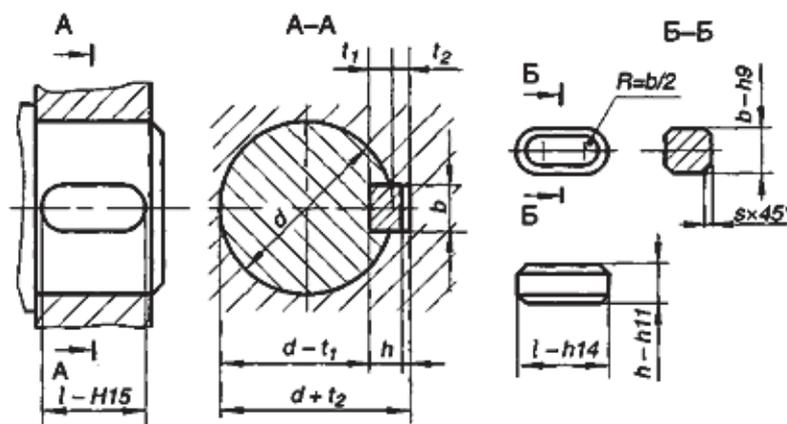


Рис. 3.1. Шпоночное соединение

Основной посадочный размер шпоночного соединения – ширина шпонки и пазов вала и втулки, т.е. размер b .

Поля допусков для обоих типов шпонок одинаковы, **посадки выполняются по системе основного вала**, т.е. по ширине b шпонка изготавливается с полем допуска $h9$. Это позволяет ограничить номенклатуру размеров калиброванной стали и облегчает получение требуемой точности.

Стандарт устанавливает соединение призматических шпонок с пазами валов и втулок трех видов (рис. 3.2): **свободное** (для направляющих шпонок), **нормальное** (для массового и серийного производства), **плотное** (для единичного производства).

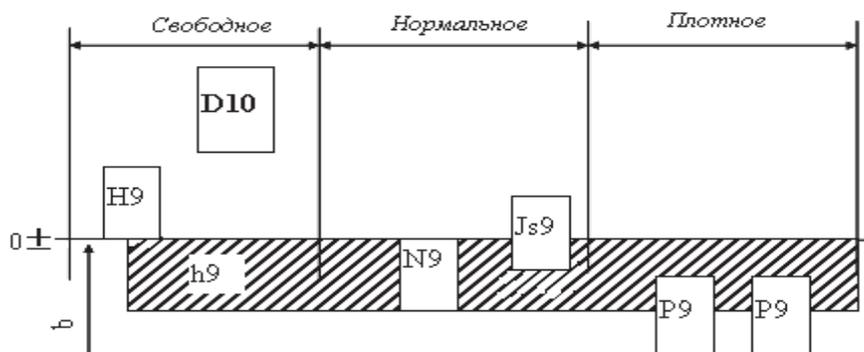


Рис. 3.2. Виды соединений призматических шпонок

Для **свободных соединений** установлены поля допусков: для пазов на валу $H9$ и во втулке $D10$, что дает посадки с зазором ($H9/h9$, $D10/h9$), для **нормальных соединений** соответственно $N9$ и $Js9$, что дает переходные посадки ($N9/h9$, $Js9/h9$), для **плотных соединений** $P9$ и $P9$, что дает также переходные посадки ($P9/h9$, $P9/h9$), применяемые при редкой разборке узла, реверсивном вращении.

Для сегментных шпонок применяют только нормальные и плотные соединения.

Все остальные размеры шпоночного соединения (см. рис. 3.1) являются непосадочными, на них установлены следующие поля допусков:

- на высоту шпонки h – $h11$ (при $h = 2 - 6$ мм $h9$);
- длину шпонки l – $h14$;
- длину пазов на валу и во втулке L – $H15$.

Предельные отклонения на глубину паза вала t_1 или на размер $(d - t_1)$ и на глубину паза втулки t_2 или на размер $(D + t_2)$ зависят от ширины шпонки b и определяются по ГОСТ 23360-78.

Предельные отклонения полей допусков $h9$, $D10$, $H9$, $Js9$ определяют по ГОСТ 25347-82 и ГОСТ 25348-82. Поля допусков $N9$ и $P9$ являются дополнительными и отклонения их определяют по тем же стандартам, но в таблицах дополнительных полей допусков.

3.2. Задачи к самостоятельной работе

- 1) Для шпоночных соединений с призматическими шпонками подобрать номинальные размеры шпонок и пазов под них.
 - 2) Назначить посадки и предельные отклонения на все детали соединения.
 - 3) Определить предельные зазоры и натяги между деталями.
 - 4) Построить схемы полей допусков.
- Задачи выполнить для следующих вариантов:

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Диаметр вала, мм	87	115	40	55	136	128	68	75	90	100
Длина шпонки l , мм	20	35	60	100	80	70	200	150	200	220
Поле допуска шпонки	h9	h9	h9	h9	h9	h9	h9	h9	h9	h9
Поле допуска паза вала	H9	N9	P9	N9	H9	P9	N9	H9	N9	P9
Поле допуска паза втулки	D10	Js9	P9	Js9	D10	P9	Js9	D10	Js9	P9

3.3. Пример решения задачи

Для соединения зубчатого колеса с валом ($\varnothing 48H7/k6$) призматической шпонкой длиной $l = 50$ мм подобрать номинальные размеры шпонки и пазов для нее, назначить посадки и предельные отклонения на все детали шпоночного **нормального** соединения, построить схемы полей допусков по размеру b .

Решение:

- 1) По таблицам ГОСТ 23360-78 находим размеры (приложение 10):
 - ширина шпонки $b = 14$ мм; высота шпонки $h = 9$ мм;
 - глубина паза на валу $t_1 = 5,5$ мм; глубина паза во втулке $t_2 = 3,8$ мм.
 - 2) По таблице для призматических шпонок при нормальном соединении поля допусков по размеру b принимаются (приложение 11):
 - для шпонки – 14h9; для паза вала – 14N9; для паза втулки – 14Js9.
 - 3) По таблицам находим предельные отклонения (см. приложения 5 – 8):
 - $14 h9 = 14_{-0,043}$; $14 Js9 = 14 \pm 0,0215$; $14 N9 = 14_{-0,043}$.
- Размеры вала ($d - t_1$) и втулки ($D + t_2$) будут иметь отклонения (приложение 12):

$$(d - t_1) = 42,5_{-0,2} \text{ мм}; \quad (D + t_2) = 51,8^{+0,2}.$$

- 4) Определяем натяги и зазоры между пазом втулки и шпонкой 14 Js9/h9:

$$S_{\max} = ES - ei = 0,0215 - (-0,043) = 0,0645 \text{ мм};$$

$$N_{\max} = es - EI = 0 - (-0,0215) = 0,0215 \text{ мм};$$

$$T(S,N) = S_{\max} + N_{\max} = 0,086 \text{ мм};$$

$$T(S,N) = T_b + T_B = 0,086 \text{ мм.}$$

5) Определяем натяги и зазоры между пазом вала и шпонкой 14 N9/h9:

$$S_{\max} = ES - ei = 0 - (-0,043) = 0,043 \text{ мм;}$$

$$N_{\max} = es - EI = 0 - (-0,043) = 0,043 \text{ мм;}$$

$$T(S,N) = S_{\max} + N_{\max} = 0,086 \text{ мм;}$$

$$T(S,N) = T_b + T_B = 0,086 \text{ мм.}$$

б) Строим схему расположения полей допусков деталей шпоночного соединения (рис. 3.3).

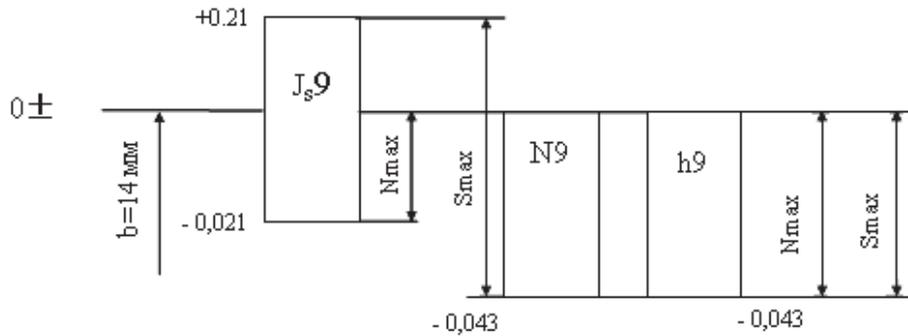


Рис. 3.3. Схема расположения полей допусков деталей шпоночного соединения

4. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

4.1. Допуски и посадки шлицевых соединений

Шлицевые соединения предназначены для передачи крутящих моментов с одновременной возможностью осевого перемещения втулки вдоль вала. Шлицевые соединения, по сравнению со шпоночными, имеют следующие преимущества: лучшее центрирование и направление посадки на вал деталей, более равномерное распределение нагрузки по высоте зуба (шлица), меньшую концентрацию напряжений.

В зависимости от профиля зубьев различают шлицевые соединения трех видов: *прямобоочные*, *эвольвентные* и *треугольные* (рис. 4.1).

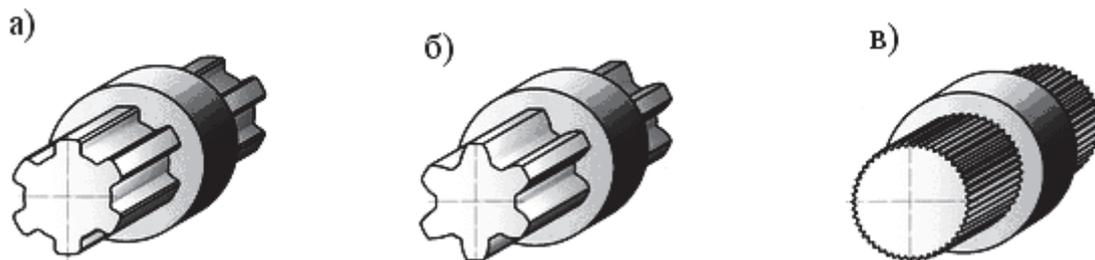


Рис. 4.1. Виды шлицевых соединений:

а – прямобоочные; б – эвольвентные; в – треугольные

Наибольшее распространение получили шлицевые соединения с прямобочным профилем и четным числом зубьев (ГОСТ 1139-80*).

Шлицевые соединения с эвольвентным профилем зубьев по сравнению с прямобочными обладают существенными преимуществами: они имеют большую нагрузочную способность и циклическую прочность, обеспечивают лучшее центрирование и направление деталей, проще в изготовлении, так как их можно фрезеровать методом обкатки и т.п.

Шлицевые соединения с треугольным профилем нестандартизованы, их чаще применяют вместо посадок с натягом, а также при тонкостенных втулках для передачи небольших крутящих моментов.

Шлицевые соединения называют подвижными, когда детали, насаживаемые на вал, имеют возможность осевого перемещения (например, зубчатые колеса коробок передач, муфты сцепления и другие узлы), и неподвижными, если втулка не может перемещаться относительно вала.

Посадки шлицевых соединений назначают в зависимости от способа центрирования. Существует **три способа центрирования**: по наружному (D), по внутреннему (d) диаметрам, по боковым сторонам зубьев (b), (в эвольвентных S) (рис. 4.2).

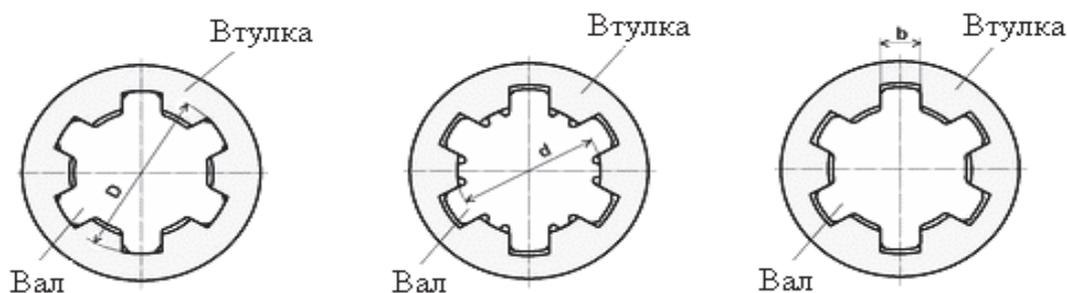


Рис. 4.2. Способы центрирования шлицевых соединений

Центрирование по наружному диаметру (D) рекомендуется, когда втулку термически не обрабатывают или когда твердость материала втулки после термической обработки допускает калибровку протяжкой ($H \leq 350$ НВ), а твердость вала допускает фрезерование до получения окончательных размеров зубьев. Такой способ прост и экономичен. Его применяют для быстроходных неподвижных соединений, а также для подвижных, воспринимающих небольшие нагрузки.

Центрирование по внутреннему диаметру (d) целесообразно, когда втулка имеет высокую твердость ($H \geq 350$ НВ) и ее нельзя обработать чистовой протяжкой. Способ обеспечивает точное центрирование и применяется обычно для быстроходных подвижных соединений.

Центрирование по боковым сторонам зубьев (b) целесообразно при передаче знакопеременных нагрузок, больших крутящих моментов, а также при реверсивном движении в тихоходных высоконагруженных со-

единениях. Этот метод не обеспечивает высокой точности центрирования и поэтому редко применяется.

Посадки шлицевых прямобочных соединений (ГОСТ 1139-80*) назначают в системе отверстия по центрирующей цилиндрической поверхности и боковым поверхностям впадин втулки и зубьев вала (т.е. по d и b или D и b , или только по b). Допуски и основные отклонения размеров d , D , b назначают по ГОСТ 25346-82.

Посадки назначают в зависимости от способа центрирования по ГОСТ 1139-80*. Поля допусков на нецентрирующие диаметры прямобочного шлицевого соединения:

- при нецентрирующем D – для вала – $a11$, для втулки – $H12$;
- при нецентрирующем d – для вала диаметр d не менее диаметра d_1 , для втулки – $H11$.

Допуски и посадки шлицевых эвольвентных соединений установлены ГОСТ 6033-80*. Центрирование осуществляется по боковым поверхностям зубьев (S), по наружному диаметру (D) и по внутреннему диаметру (d) (см. рис. 4.2). На ширину впадины втулки (e) и толщину зуба вала (S) устанавливают суммарный допуск: $T = T_s + T_e$. Допуски на нецентрирующие диаметры принимают такими, чтобы исключить контакт по этим диаметрам.

Шлицевые соединения с треугольным профилем зубьев центрируют только по боковым сторонам зубьев (см. рис. 4.2).

4.2. Примеры обозначения посадок шлицевых соединений

Соединения с прямобочным профилем

Центрирование по d :

$$d - 8 \times 32H7/f7 \times 36 H12/a11 \times 6 D9/h9,$$

это означает: число зубьев $z = 8$, внутренний диаметр $d = 32H7/f7$, наружный диаметр $D = 36 H12/a11$, ширина зубьев $b = 6 D9/h9$.

Условное обозначение деталей этого соединения:

- втулки: $d - 8 \times 32 H7 \times 36 H12 \times 6 D9$;
- вала: $d - 8 \times 32f7 \times 36 a11 \times 6 h9$.

Центрирование по D :

$$D - 8 \times 32 \times 36H7/f7 \times 6F8/f8,$$

это означает: число зубьев $z = 8$, внутренний диаметр $d = 32$ мм; наружный диаметр $D = 36H7/f7$; ширина зубьев $b = 6F8/f8$.

Условное обозначение деталей этого соединения:

- втулки: $D - 8 \times 32 \times 36H7 \times 6F8$;
- вала: $D - 8 \times 32 \times 36 f7 \times 6 f8$.

Центрирование по b :

$$b - 8 \times 32 \times 36 H12/a11 \times 6 D9/f8,$$

это означает: число зубьев $z = 8$, внутренний диаметр $d = 32$ мм, наружный диаметр $D = 36$ H12/a11; ширина зубьев $b = 6$ D9/f8.

Условное обозначение деталей этого соединения:

– втулки: $b - 8 \times 32 \times 36$ H12 \times 6 D9;

– вала: $b - 8 \times 32 \times 36$ a11 \times 6 f8.

Соединения с эвольвентным профилем

Центрирование по S:

$$50 \times 2 \times 9H/9g \text{ ГОСТ } 6033-80^*,$$

это означает: номинальный диаметр соединения $D = 50$ мм, модуль $m = 2$ мм, посадка по центрирующему параметру 9H/9g.

Условное обозначение деталей соединения:

– втулки: $50 \times 2 \times 9H$ ГОСТ 6033-80*;

– вала: $50 \times 2 \times 9g$ ГОСТ 6033-80*.

Центрирование по D:

$$50 \times H7/g6 \times 2 \times 9H/9h \text{ ГОСТ } 6033-80^*,$$

это означает: номинальный диаметр соединения $D = 50$ мм, модуль $m = 2$ мм, посадка по центрирующему диаметру $D - H7/g6$, посадка по нецентрирующим поверхностям зубьев 9H/9h.

Условное обозначение деталей соединения:

– втулки: $50 \times H7 \times 2 \times 9H$ ГОСТ 6033-80*;

– вала: $50 \times g6 \times 2 \times 9h$ ГОСТ 6033-80*.

Центрирование по внутреннему диаметру (i):

$$i \ 50 \times 2 \times H7/g6 \times 9H/9h \text{ ГОСТ } 6033-80^*,$$

это означает: номинальный диаметр соединения $D = 50$ мм, модуль $m = 2$ мм, посадка по центрирующему диаметру $d - H7/g6$, посадка по нецентрирующим поверхностям зубьев 9H/9h.

Условное обозначение деталей соединения:

– втулки: $i \ 50 \times 2 \times H7 \times 9H$ ГОСТ 6033-80*;

– вала: $i \ 50 \times 2 \times g6 \times 9h$ ГОСТ 6033-80*.

4.3. Задачи к самостоятельной работе

Расшифровать обозначения шлицевых соединений на чертежах

Вариант	Условное обозначение шлицевого обозначения
1	$d - 6 \times 23 \frac{H7}{f7} \times 28 \frac{H12}{a11} \times 6 \frac{D9}{h9}$
2	$d - 8 \times 56 \frac{H7}{f7} \times 62 \frac{H12}{a11} \times 10 \frac{F10}{f9}$
3	$b - 10 \times 72 \times 82 \frac{H12}{a11} \times 12 \frac{D9}{f8}$

Вариант	Условное обозначение шлицевого обозначения
4	$D - 8 \times 32 \times 38 \frac{H7}{js6} \times 6 \frac{F8}{f7}$
5	$d - 8 \times 56 \frac{H7}{g6} \times 62 \frac{H12}{a11} \times 10 \frac{D9}{f8}$
6	$b - 10 \times 16 \times 20 \frac{H12}{a11} \times 2,5 \frac{D9}{e8}$
7	$D - 8 \times 42 \times 48 \frac{H7}{f7} \times 8 \frac{F8}{js7}$
8	$b - 16 \times 62 \times 72 \frac{H12}{a11} \times 6 \frac{D9}{e8}$
9	$d - 10 \times 42 \frac{H7}{g6} \times 52 \frac{H12}{a11} \times 6 \frac{D9}{h9}$
0	$D - 20 \times 112 \times 125 \frac{H7}{f7} \times 9 \frac{F8}{f8}$

5. НОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ, ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

5.1. Шероховатость поверхности

5.1.1. Основные понятия и определения

Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины (ГОСТ 2789-73).

Условно границу между отклонениями формы поверхности различных порядков можно установить по значению отношения шага (S_w) к высоте неровностей (W_z):

при $\frac{S_w}{W_z} \leq 40$ – отклонения относятся к шероховатости поверхности;

при $40 \leq \frac{S_w}{W_z} \leq 1000$ – отклонения относятся к волнистости;

при $\frac{S_w}{W_z} > 1000$ – отклонения относятся к отклонениям формы поверхности.

Базовая длина (l) – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

В качестве параметров (критериев) для оценки шероховатости в России и в большинстве стран мира принято шесть параметров:

– **высотные параметры:**

- 1) R_a – среднее арифметическое отклонение профиля;
- 2) R_z – высота неровностей профиля по десяти точкам;

- 3) R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля;
- **шаговые параметры:**
- 4) S_m – средний шаг неровностей;
- 5) S – средний шаг местных выступов профиля;
- **опорный параметр:**
- 6) t_p – относительная опорная длина профиля.

При обозначении шероховатости на чертежах **все высотные параметры задаются** числовыми значениями в микрометрах (мкм) без указания единицы величины, **все шаговые параметры задаются** числовыми значениями в миллиметрах (мм) без указания единицы, **опорный параметр задается** числовыми значениями в процентах (%) и тоже без указания единицы величины. Рассмотрим каждый из этих параметров.

Среднее арифметическое отклонение профиля определяется следующим образом:

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

где n – число выбранных точек профиля на базовой длине; y_i – отклонение профиля или расстояние между точкой профиля и средней линией.

Средняя линия профиля – базовая линия, имеющая форму геометрического профиля и параллельная основному направлению профиля по всей базовой длине, так что в пределах базовой длины суммы площадей, заключенных между этой линией и профилем, по обе ее стороны одинаковы, т.е.

$$F_1 + F_3 + \dots + F_{n-1} = F_2 + F_4 + \dots + F_n \quad (\text{если } n \text{ – четное число}).$$

Средняя линия профиля обозначается буквой «m» (рис. 5.1).

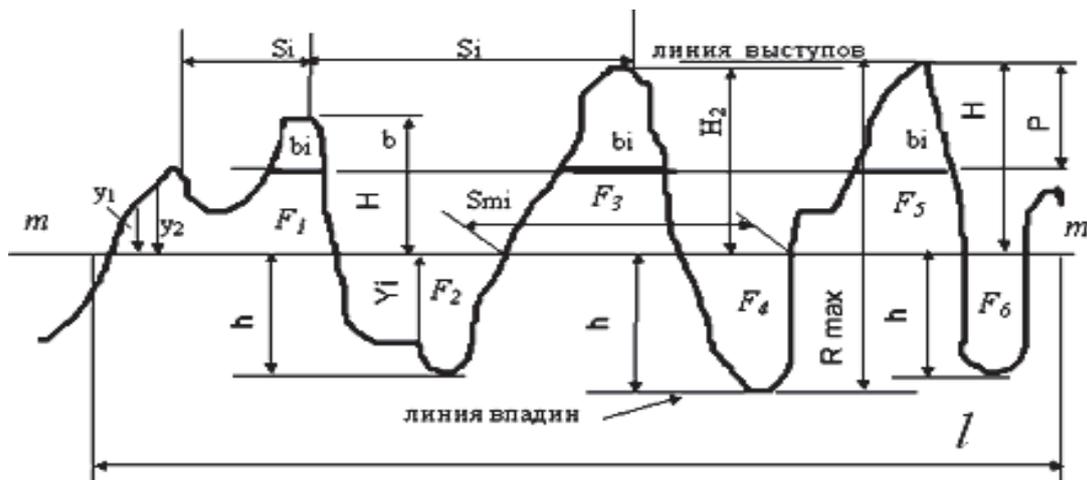


Рис. 5.1. Профилограмма обработанной поверхности

Высота неровностей профиля по десяти точкам определяется по формуле

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 H_i + \sum_{i=1}^5 h_i}{5},$$

где H_i – расстояния от пяти точек выступов до средней линии профиля; h_i – расстояние от пяти точек впадин до средней линии профиля (см. рис. 5.1).

Максимальная высота неровностей профиля (R_{\max}) – это расстояние от линии выступов профиля до линии впадин в пределах базовой длины (см. рис. 5.1).

Линия выступов – линия, параллельная средней линии и проходящая через наивысшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия впадин профиля – линия, параллельная средней линии и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг неровностей определяется по формуле

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где S_{mi} – i -й шаг неровностей (отрезок средней линии профиля, между точками пересечения соседних одноименных сторон профиля и средней линией); n – число шагов неровностей профиля по средней линии (см. рис. 5.1).

Средний шаг местных выступов определяется по формуле

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где S_i – i -й шаг местных выступов профиля, т.е. отрезок средней линии между проекциями на нее наивысших точек соседних местных выступов профиля (см. рис. 5.1).

Относительная опорная длина профиля определяется по формуле

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \cdot 100,$$

где t_p – относительная опорная длина профиля, %; p – значение уровня сечения; η_p – опорная длина профиля; l – базовая длина неровностей.

Опорная длина профиля (η_p) определяется суммой длин отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне P в материале профиля линией, параллельной средней линии в пределах базовой длины:

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i.$$

Значение уровня сечения (p) определяется по формуле

$$p = \frac{P}{R_{\max}} \cdot 100,$$

где P – уровень сечения профиля (расстояние от линии выступов профиля до линии, пересекающей профиль параллельно средней линии профиля);
 R_{max} – максимальная высота неровностей (см. рис. 5.1).

5.1.2. Обозначение шероховатости на чертежах

Стандарт устанавливает три знака для обозначения шероховатости поверхности (рис. 5.2):



Рис. 5.2. Знаки обозначения шероховатости поверхности

Первый знак применяют, когда способ обеспечения шероховатости конструктором не определен.

Второй знак применяют, когда шероховатость поверхности должна быть обеспечена удалением слоя металла.

Третий знак применяют для обозначения шероховатости поверхности, полученной литьем, ковкой, штамповкой, прокаткой и т.п., т.е. без удаления слоя металла. Последний знак применяют также в обозначении шероховатости поверхности, к обработке которой требования не установлены.

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок. Допускается при недостатке места располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, на рамке допуска формы, а также разрывать выносную линию (рис. 5.3).

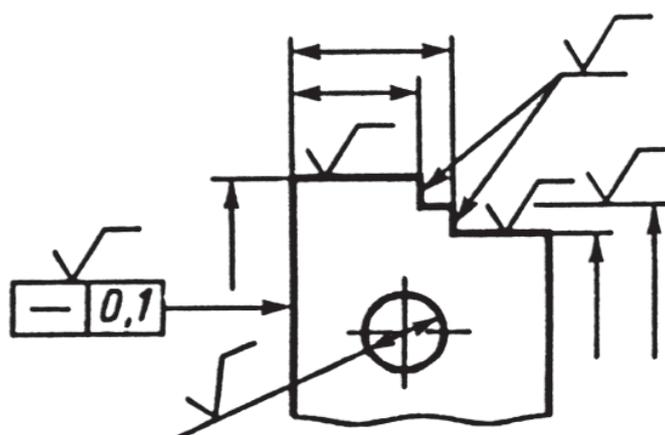


Рис. 5.3. Расположение знаков обозначения шероховатости поверхности

Шероховатость обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия, независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. 5.4.

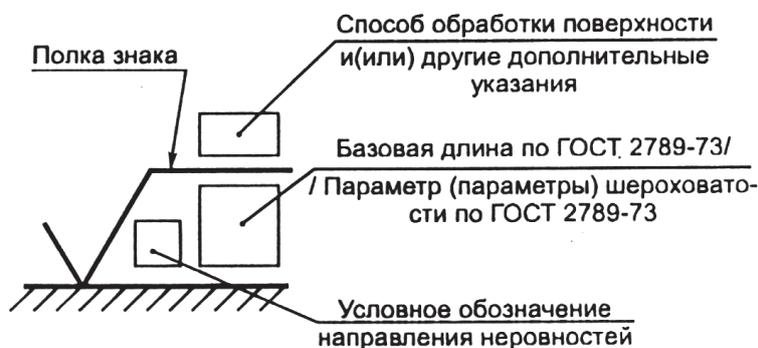


Рис. 5.4. Структура обозначения шероховатости поверхности

Значение параметра шероховатости указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например: $Ra\ 0,4$; $R_{max}\ 6,3$; $S_m\ 0,63$; $t_{50}\ 70$; $S\ 0,032$; $Rz\ 50$.

Примечание. В примере $t_{50}\ 70$ указана относительная опорная длина профиля $t_p = 70\ %$ при значении уровня сечения профиля $p = 50\ %$.

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например: $\sqrt{Ra0,4}$; $\sqrt{Rz50}$.

При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «min», например: $\sqrt{Ra3,2\ min}$; $\sqrt{Rz50\ min}$.

При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:

$Ra0,8$	$Rz0,10$	$R_{max}0,80$	$t_{50}70$
0,4	0,05	0,32	50

В верхней строке приводят значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости.

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями, например:

$Ra\ 1\ +20\ %$; $Rz\ 100\ -10\ %$; $S_m\ 0,63\ +20\ %$; $t_{50}\ 70\ \pm\ 40\ %$ и т.п.

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записывают сверху вниз

в следующем порядке (рис. 5.5): параметры высоты неровностей профиля, параметры шага неровностей профиля, относительная опорная длина профиля.

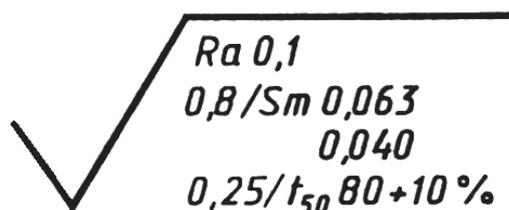


Рис. 5.5. Пример обозначения шероховатости поверхности

Из параметров шероховатости R_a и R_z в обозначении может присутствовать только один и предпочтение отдают параметру R_a .

Над полкой знака шероховатости записывают вид обработки поверхности только в том случае, когда он является единственным для получения требуемого качества поверхности (рис. 5.6).

Под полкой знака указывают базовую длину только тогда, когда высотные параметры R_z и R_a определяются в пределах базовой длины, отличающейся от стандартной.

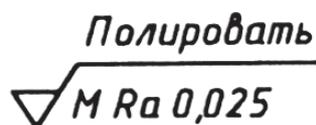


Рис. 5.6. Пример обозначения шероховатости поверхности

Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разъяснением его в технических требованиях чертежа по примеру, указанному на рис. 5.7. В упрощенном обозначении используют знак $\sqrt{\quad}$ и строчные буквы русского алфавита в алфавитном порядке, без повторений и, как правило, без пропусков.

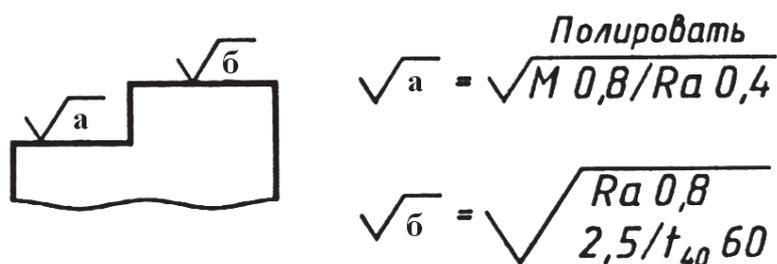
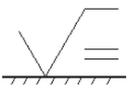
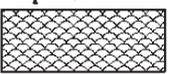
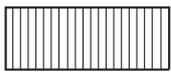
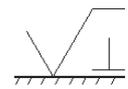
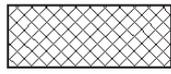
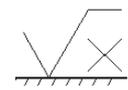
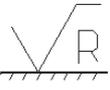
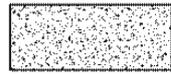
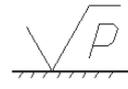


Рис. 5.7. Упрощённое обозначение шероховатости поверхности

Условные обозначения направления неровностей должны соответствовать приведенным в табл. 5.1. Условные обозначения направления неровностей приводят на чертеже при необходимости (см. рис. 5.6).

Таблица 5.1

Направления неровностей и их обозначение

Типы направлений неровностей	Обозначение	Типы направлений неровностей	Обозначение
параллельное 		произвольное 	
перпендикулярное 		кругообразное 	
перекрещивающееся 		радиальное 	
ненаправленное 		<i>Примечание.</i> Высота знаков (\perp , R и других) приблизительно равна h , а толщина их линий $\sim s/2$.	

При обозначении изделия с разрывом обозначение шероховатости наносят только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размеров (рис. 5.8). При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображение не наносят (рис. 5.9).

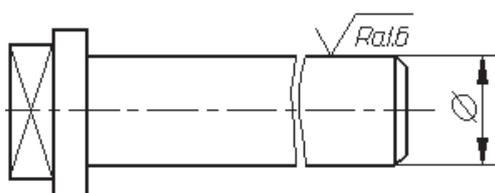


Рис. 5.8. Пример обозначения шероховатости поверхности

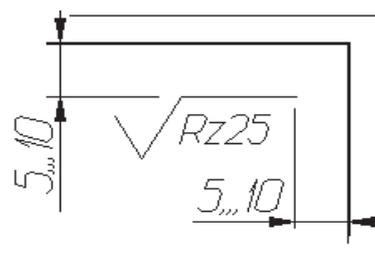


Рис. 5.9. Указание шероховатости одинаковой для всех поверхностей изделия

Если шероховатость поверхности детали должна быть разной, то в правом верхнем углу чертежа наносят обозначение преобладающей по числу поверхностей шероховатости и знак $\sqrt{\quad}$ в скобках, который означает, что все остальные поверхности детали, кроме обозначенных на изображении, должны иметь шероховатость, указанную перед скобкой (рис. 5.10, 5.11).

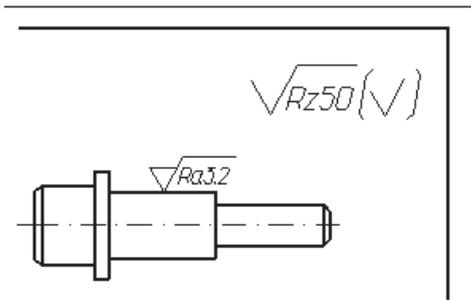


Рис. 5.10. Указание шероховатости одинаковой для части поверхностей изделия

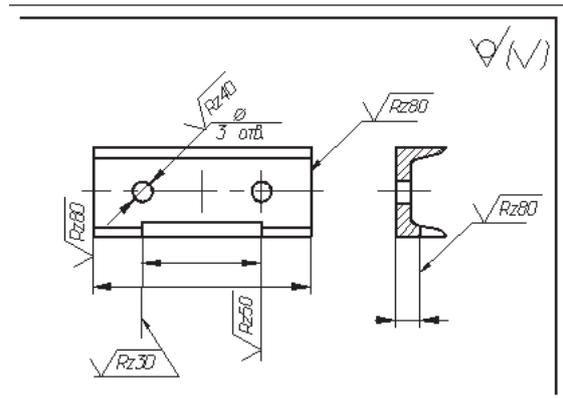


Рис. 5.11. Указание шероховатости, когда большая часть поверхностей не обрабатывается по данному чертежу

Если шероховатость одной и той же поверхности различна на отдельных участках, то эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначения шероховатости (рис. 5.12). Через заштрихованную зону линию границы между участками не проводят (рис. 5.13).

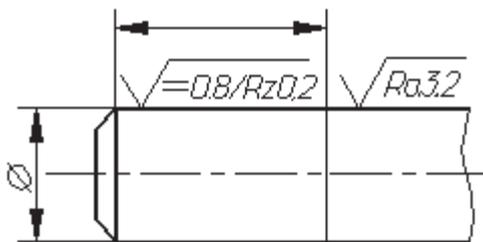


Рис. 5.12. Пример обозначения различной шероховатости на одной поверхности

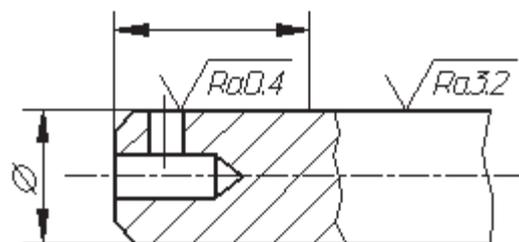


Рис. 5.13. Пример обозначения различной шероховатости на одной поверхности

Обозначение шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес и эвольвентных шлиц условно наносят на линии делительной поверхности (рис. 5.14).

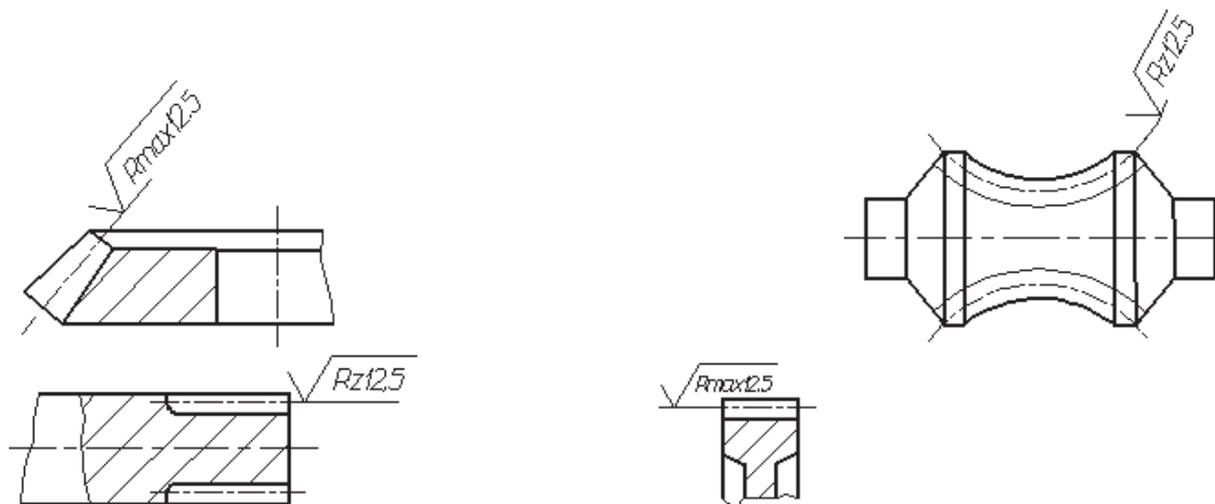


Рис. 5.14. Примеры обозначения шероховатости рабочих поверхностей зубьев

Обозначение шероховатости поверхности профиля резьбы наносят по общим правилам при изображении профиля или условно на выносной линии для указания размера резьбы (рис. 5.15), на размерной линии или на ее продолжении (рис. 5.16).



Рис. 5.15. Пример обозначения шероховатости наружной резьбы

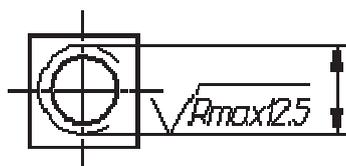


Рис. 5.16. Пример обозначения шероховатости внутренней резьбы

Если шероховатость контура должна быть одинаковой, то обозначение наносится один раз со знаком окружности \circ (рис. 5.17). Диаметр знака равен 4...5 мм. В обозначении одинаковой шероховатости поверхностей, плавно переходящих одна в другую, знак \circ не приводят (рис. 5.18).

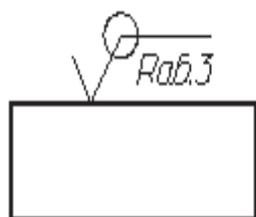


Рис. 5.17. Обозначение одинаковой шероховатости поверхностей, образующих замкнутый контур

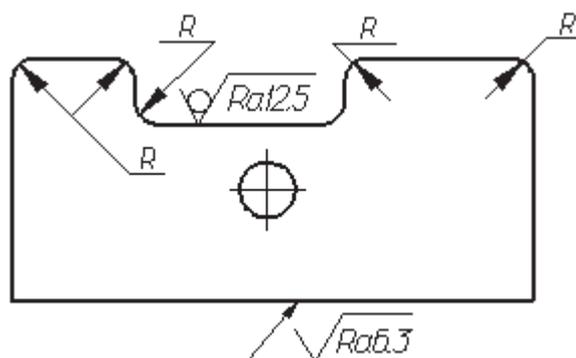


Рис. 5.18. Пример обозначения шероховатости поверхности, плавно переходящей одна в другую

Обозначение шероховатости поверхностей повторяющихся элементов изделия (отверстий, пазов, зубьев и т.п.), количество которых указано на чертеже, а также обозначение шероховатости одной и той же поверхности наносят один раз, независимо от числа изображений.

Обозначение шероховатости симметрично расположенных элементов симметричных изделий наносят один раз.

Допускаемые значения R_a и R_z в зависимости от допуска размера и формы установлены по четырем уровням относительной геометрической точности, определяемых соотношением допусков формы и размера соответственно: $A = 60\%$, $B = 40\%$, $C = 25\%$ и $D < 25\%$ (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Параметры шероховатости в зависимости от допусков размера IT и формы T_ϕ

При допуске формы T_ϕ в процентах от допуска размера IT	Параметр R_a	Параметр R_z
$A = 60\%$	$R_a \leq 0,05IT$	$R_z = 0,2IT$
$B = 40\%$	$R_a \leq 0,025IT$	$R_z = 0,1IT$
$C = 25\%$	$R_a \leq 0,012IT$	$R_z = 0,05IT$
$D < 25\%$	$R_a = 0,15T_\phi$	$R_z = 0,6T_\phi$

Существуют *три основных метода измерения шероховатости поверхности*:

- 1) определение параметров шероховатости сравнением с образцами;
- 2) бесконтактный метод при использовании приборов светового сечения, двойного микроскопа, микроинтерферометра и др.;
- 3) контактный метод с использованием щуповых приборов различных моделей, например профилографа-профилометра и др.

В конструкторской документации, справочниках, учебной литературе, выпущенной до 1980 г. и разработанной до введения ГОСТ 2789-73 и ГОСТ 2.309-73, требования к шероховатости указывались по классам и разрядам шероховатости. В табл. 5.3 приведены ранее применявшиеся условные обозначения классов и разрядов шероховатости и соответствующие им числовые значения параметров R_a и R_z .

Таблица 5.3

Сопоставление классов и разрядов параметрам шероховатости

Условное обозначение		Наибольшее значение параметра шероховатости, мкм				Базовая длина l , мм
Класс шероховатости поверхности	Разряд шероховатости поверхности	R_a		R_z		
		По классу	По разряду	По классу	По разряду	
1	2	3	4	5	6	7
$\nabla 1$	-	-	-	320	-	8,0
$\nabla 2$	-	-	-	160	-	

Продолжение табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7
▽3	-	-	-	80	-	8,0
▽4	-	-	-	40	-	2,5
▽5	-	-	-	20	-	
▽6	▽6a	2,5	2,5	-	-	0,8
	▽6б		2,0	-	-	
	▽6B		1,6	-	-	
▽7	▽7a	1,25	1,25	-	-	
	▽7б		1,00	-	-	
	▽7B		0,80	-	-	
▽8	▽8a	0,63	0,63	-	-	
	▽8б		0,50	-	-	
	▽8B		0,40	-	-	
▽9	▽9a	0,32	0,32	-	-	0,25
	▽9б		0,25	-	-	
	▽9B		0,20	-	-	
▽10	▽10a	0,160	0,160	-	-	
	▽10б		0,125	-	-	
	▽10B		0,100	-	-	
▽11	▽11a	0,080	0,080	-	-	
	▽11б		0,063	-	-	
	▽11B		0,050	-	-	
▽12	▽12a	0,040	0,040	-	-	0,25
	▽12б		0,032	-	-	
	▽12B		0,025	-	-	
▽13	▽13a	-	-	0,100	0,100	0,08
	▽13б		0,080			
	▽13B		0,063			
▽14	▽14a	-	-	0,050	0,050	
	▽14б		0,040			
	▽14B		0,032			

5.2. Отклонения и допуски формы поверхностей

5.2.1. Основные понятия и определения

Под **отклонением формы** поверхности понимают отклонение формы реальной поверхности от формы номинальной поверхности.

Номинальная поверхность – идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией. Реальные поверхности у детали получаются после изготовления. В основу нормирования и количественной оценки отклонений формы и расположения положен принцип прилегающих прямых, поверхностей и профилей.

Прилегающая прямая – прямая, соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная **вне материала** детали так, чтобы отклонения от

нее до наиболее удаленной точки реального профиля было минимальным (рис. 5.19, а).

Прилегающая окружность – это окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения или максимального диаметра, вписанного в реальный профиль внутренней поверхности вращения (рис. 5.19, б, в). Различают также прилегающую плоскость, прилегающий цилиндр и т.п.

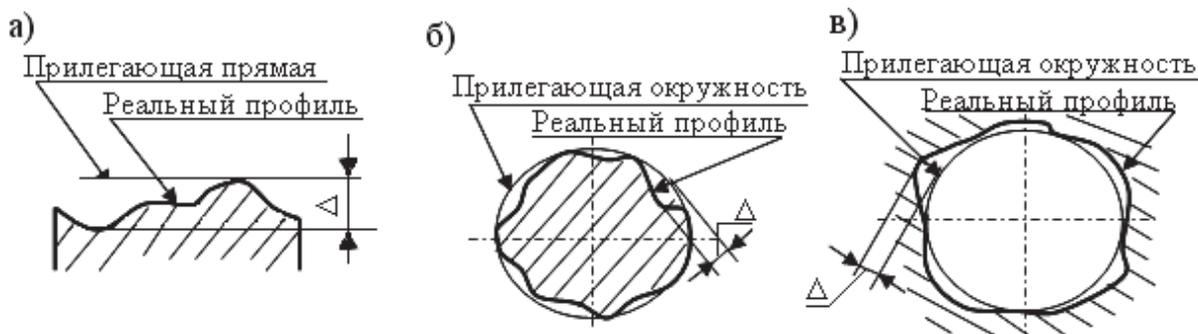


Рис. 5.19. Прилегающие прямая (а) и окружности (б, в)

Приняты следующие буквенные обозначения:

Δ – отклонение формы или расположения поверхностей;

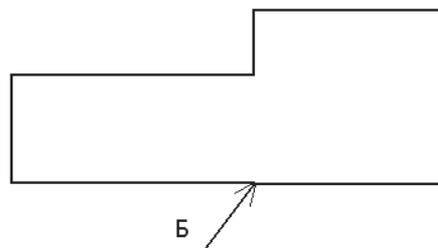
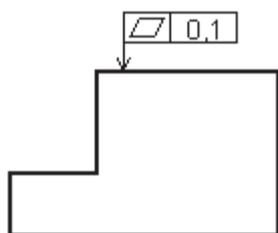
T – допуск формы или допуск расположения;

L – длина нормируемого участка.

5.2.2. Отклонения формы плоских поверхностей

Комплексный показатель, характеризующий точность формы плоских поверхностей, – это **отклонение от плоскостности** (\square) (рис. 5.20). Отклонение от плоскостности определяют как наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (см. рис. 5.19, а).

Частными видами отклонений от плоскостности являются **выпуклость** и **вогнутость**. Условных обозначений эти показатели не имеют, поэтому на чертеже обозначают поверхность (русскими прописными буквами), а в технических требованиях делают соответствующую запись (рис. 5.21).



Вогнутость поверхности Б не более 0,1 мм

Рис. 5.20. Обозначение плоскостности Рис. 5.21. Обозначение вогнутости

Показателем, характеризующим также точность формы плоских поверхностей, является **отклонение от прямолинейности** ($-$). Отклонение от прямолинейности плоскости определяют как наибольшее расстояние (Δ) от точек реального профиля до прилегающей прямой (рис. 5.22, в). Рассмотрим несколько возможных вариантов простановки отклонения от прямолинейности.



Рис. 5.22. Варианты простановки отклонений от прямолинейности:
 а – образующих цилиндрической поверхности; б – оси цилиндрической поверхности; в – указанной поверхности

5.2.3. Отклонения формы цилиндрических поверхностей

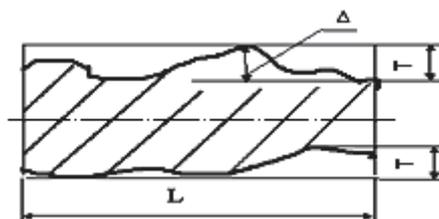
Комплексным показателем точности формы цилиндрической поверхности является **отклонение от цилиндричности** (⌀). **Отклонение от цилиндричности** – наибольшее расстояние (Δ) от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка (L). Это отклонение определяет точность цилиндрической поверхности в двух сечениях – продольном и поперечном. Однако чаще точность формы цилиндрической поверхности рассматривают отдельно в каждом из этих сечений.

Рассмотрим показатели точности формы цилиндрической поверхности в продольном сечении:

– комплексный показатель – **отклонение профиля продольного сечения** (—);

– частные виды отклонений, характеризующих точность формы в продольном сечении – **конусообразность, бочкообразность, седлообразность**.

Отклонение профиля продольного сечения – наибольшее расстояние (Δ) 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) (рис. 5.23).



Поле допуска (T) отклонения профиля продольного сечения показано на рис. 5.23. Отклонение профиля продольного сечения

Рис. 5.23. Допуск и отклонение профиля продольного сечения

характеризует отклонения от прямолинейности и параллельности образующих.

Конусообразность – отклонение продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 5.24, а).

Бочкообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны, и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 5.24, б).

Седлообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны, и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения (рис. 5.24, в).

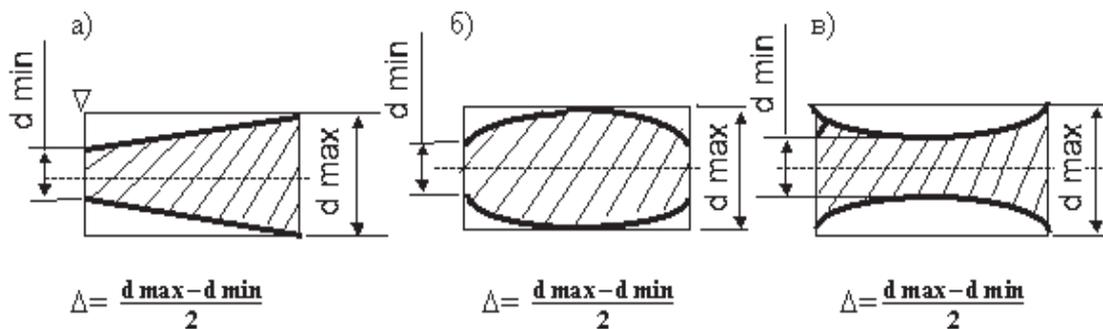


Рис. 5.24. Частные виды отклонения профиля продольного сечения: а – конусообразность; б – бочкообразность; в – седлообразность

Бочкообразность чаще всего возникает при обтачивании тонких длинных валов в центрах без люнетов (в средней части под влиянием сил резания возникают большие упругие прогибы, чем по краям). Толстые короткие валы чаще получаются седлообразными из-за большого смещения вала по краям (составляющие силы резания распределяются между обоими центрами более равномерно). Бочкообразность и седлообразность могут возникнуть также вследствие погрешности направляющих станин станков и других причин. Причиной конусообразности являются износ резца, несовпадение геометрических осей шпинделя и пиноли задней бабки станка (смещение центров), отклонение от параллельности оси центров направляющим станины.



Рис. 5.25. Отклонение от круглости

Рассмотрим показатели точности формы цилиндрической поверхности в поперечном сечении. Комплексный показатель – **отклонение от круглости** (\odot) – наибольшее расстояние (Δ) от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 5.25).

Допуск круглости (T) – наибольшее допускаемое значение отклонения от круглости.

Частными видами отклонений от круглости

являются овальность и огранка.

Овальность – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 5.26, а).

Огранка – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру. Огранка может быть с четным и нечетным числом граней и характеризуется равенством размера d (рис. 5.26, б).

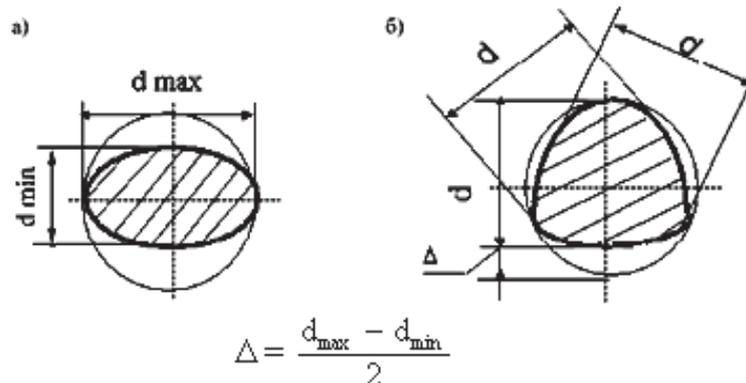


Рис. 5.26. Отклонения формы цилиндрических поверхностей в поперечном сечении:
а – овальность; б – огранка

Овальность детали возникает, например, вследствие биения шпинделя токарного или шлифовального станка, дисбаланса детали и других причин. Появление огранки вызвано изменением положения мгновенного центра вращения детали, например при бесцентровом шлифовании.

Примеры обозначений отклонений формы цилиндрических поверхностей представлены на рис. 5.27 и 5.28.

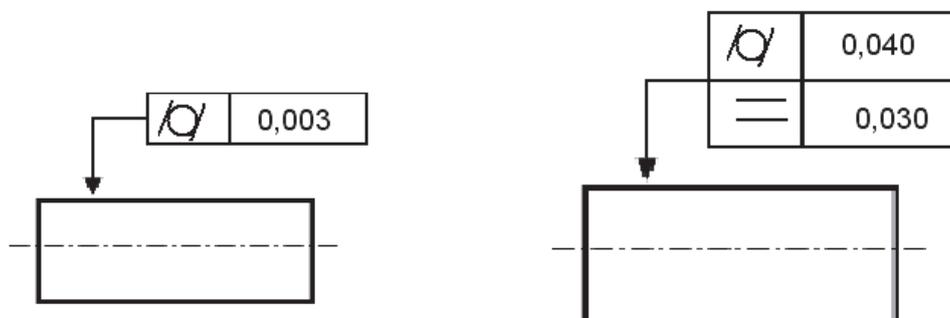


Рис. 5.27. Примеры обозначения отклонений цилиндрических поверхностей



Рис. 5.28. Примеры обозначения отклонений цилиндрических поверхностей

5.3. Отклонения расположения поверхностей

Отклонением расположения поверхности или профиля называют отклонение реального расположения поверхности (профиля) от его номинального расположения.

Рассмотрим примеры отклонений расположения поверхностей.

Отклонение от параллельности плоскостей (осей, оси и плоскости) – разность (Δ) наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающими плоскостями в пределах нормируемого участка (рис. 5.29 и 5.30).

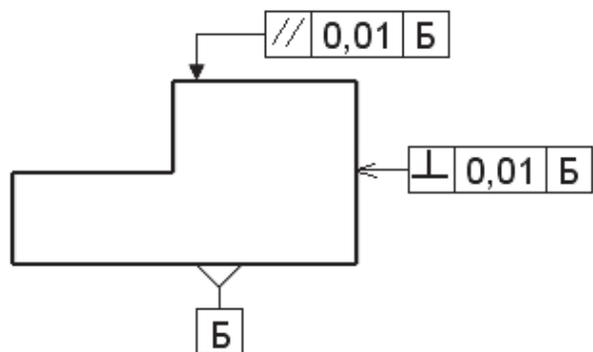


Рис. 5.29. Отклонение от параллельности и перпендикулярности

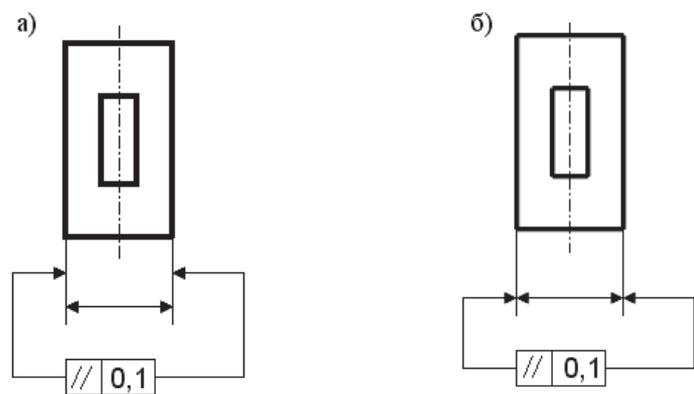


Рис. 5.30. Правильный (а) и неправильный (б) варианты обозначения параллельности

Отклонение от перпендикулярности плоскостей (осей, оси и плоскости) – отклонение угла между плоскостями от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка (см. рис. 5.29).

Отклонение от соосности относительно общей оси – это наибольшее расстояние (Δ) между осью рассматриваемой поверхности вращения и общей осью двух или нескольких поверхностей вращения на длине нормируемого участка. **Отклонение от соосности всегда относится к осям** (рис. 5.31).

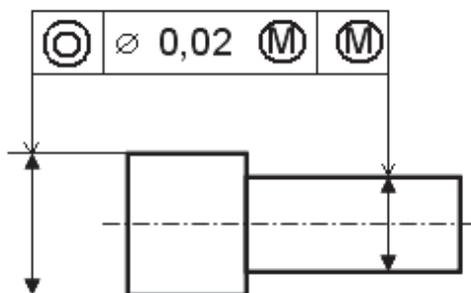


Рис. 5.31. Обозначение отклонения от соосности

Допуск соосности в диаметральной выражении равен удвоенному наибольшему допускаемому значению отклонения от соосности, а **в радиусном выражении** – наибольшему допускаемому значению этого отклонения. Поле допуска соосности – область в пространстве, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен допуску соосности в диаметральной выражении T или удвоенному допуску соосности в радиусном выражении R , а ось совпадает с базовой осью. Двойкая количественная оценка соосности (в диаметральной и радиусном выражении) принята по рекомендации ИСО также для **симметричности и пересечения осей**. Ранее эти отклонения определяли только в радиусной мере.

Отклонение от симметричности относительно базовой плоскости – наибольшее расстояние (Δ) между плоскостью симметрии рассматриваемой поверхности и базовой плоскостью симметрии в пределах нормируемого участка (рис. 5.32).

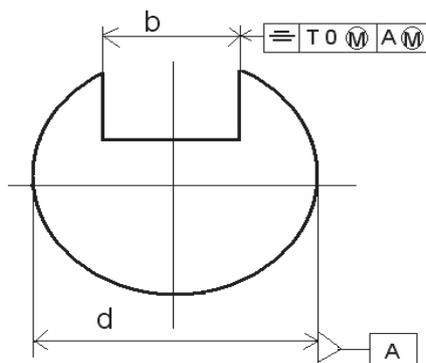


Рис. 5.32. Обозначение отклонения от симметричности

Отклонение от пересечения осей, которые номинально должны пересекаться, определяют как наименьшее расстояние между рассматриваемой и базовой осями (рис. 5.33).

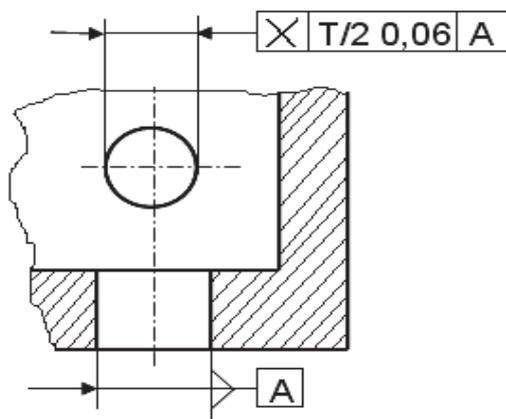


Рис. 5.33. Обозначение отклонения от пересечения осей

Позиционное отклонение – наибольшее расстояние (Δ) реального расположения элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) от его номинального расположения в пределах нормируемого участка. Позиционное отклонение и позиционный допуск были введены вместо термина **смещение оси** (или плоскости симметрии) от номинального расположения (рис. 5.34).

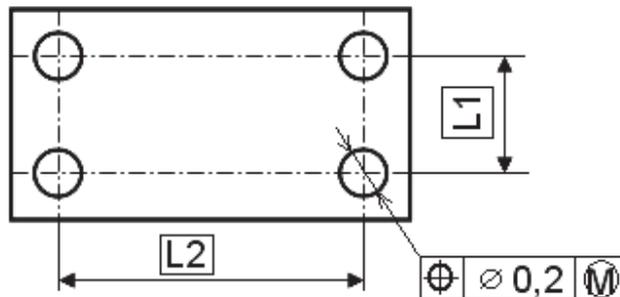


Рис. 5.34. Обозначение позиционного допуска

Отклонение наклона плоскости (оси, прямой) относительно плоскости (оси, прямой) – отклонение угла между плоскостью и базовой плоскостью от номинального угла, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка (рис. 5.35).

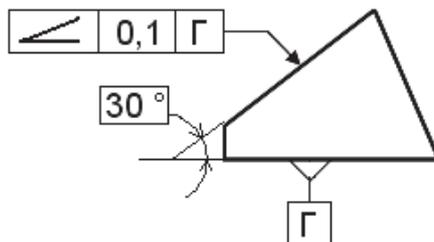


Рис. 5.35. Обозначение отклонения наклона

5.4. Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей

Радиальное биение поверхности вращения относительно базовой оси является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра относительно базовой оси.

Если определяют разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормированного участка L до базовой оси, то находят полное радиальное биение:

$$\Delta = R_{\max} - R_{\min}.$$

Оно является результатом *совместного проявления отклонения от цилиндричности поверхности и отклонения от ее соосности относительно базовой оси* (рис. 5.36).

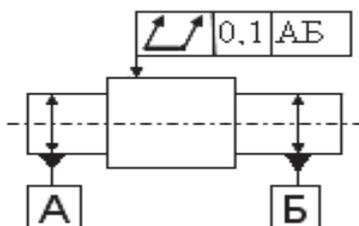


Рис. 5.36. Обозначение полного радиального биения

Торцовое биение (полное) – разность (Δ) наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Оно является результатом *совместного проявления отклонения от плоскостности рассматриваемой поверхности и отклонения от перпендикулярности ее относительно базовой оси* (рис. 5.37).

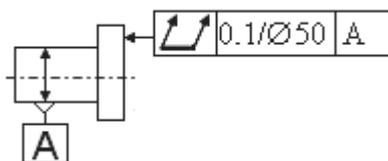


Рис. 5.37. Обозначение полного торцового биения

Отклонение формы заданного профиля – наибольшее отклонение Δ точек реального профиля, определяемое по нормали к нормируемому профилю в пределах нормируемого участка L .

Отклонение формы заданной поверхности – наибольшее отклонение Δ точек реальной поверхности от номинальной поверхности, определяемое по нормали к номинальной поверхности в пределах нормируемых участков L_1, L_2 (рис. 5.38).



Рис. 5.38. Обозначение отклонения формы заданной поверхности

5.5. Зависимый и независимый допуски расположения (формы)

Допуски расположения или формы, устанавливаемые для валов или отверстий, могут быть зависимыми и независимыми.

Зависимым называют переменный допуск расположения или формы, минимальное значение которого указывается в чертеже или в технических требованиях и которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера поверхности детали от проходного предела (наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия) (рис. 5.39).

Допуск расположения или формы может быть зависимым как от точности размеров рассматриваемых поверхностей, так и от точности размеров базовой поверхности.

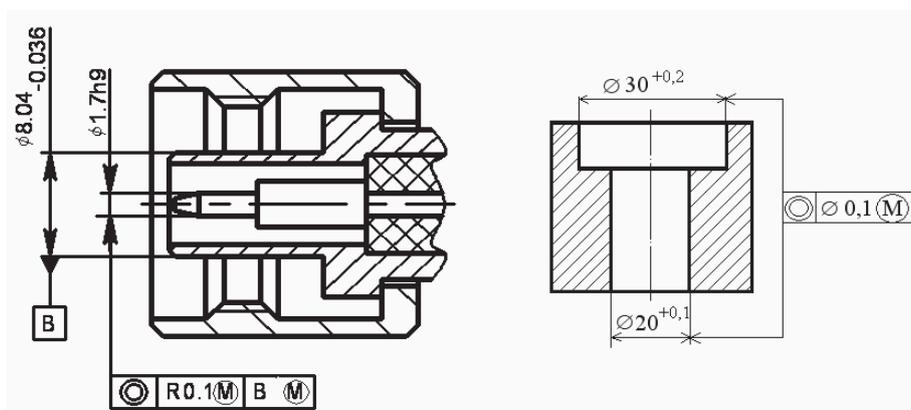


Рис. 5.39. Обозначение зависимых допусков

Независимым называют допуск расположения или формы поверхностей, числовое значение которого постоянно и не зависит от действительных размеров рассматриваемых поверхностей.

5.6. Нормирование точности формы и расположения поверхностей

Согласно ГОСТ 24643-81, для каждого вида допуска формы и расположения поверхностей установлено 16 степеней точности. Числовые значения допусков увеличиваются от одной степени к другой. Существует связь

между точностью размеров деталей (кавалитетом) и точностью формы или расположения поверхностей (степенью точности).

Допуск формы поверхности не может быть больше допуска на размер этой поверхности. Таким образом, для нормирования точности формы используется часть от допуска на размер. Стандарт устанавливает следующие уровни относительной геометрической точности формы:

A – нормальная относительная геометрическая точность, допуски формы или расположения составляют примерно 60 % допуска размера;

B – повышенная относительная геометрическая точность, допуски формы или расположения составляют примерно 40 % допуска размера;

C – высокая относительная геометрическая точность, допуски формы или расположения составляют примерно 25 % допуска размера.

Допуски формы цилиндрических поверхностей, соответствующие уровням *A, B, C*, составляют примерно 30, 20 и 12 % допуска размера, так как допуск формы ограничивает отклонение радиуса, а допуск размера – отклонение диаметра поверхности.

Допуски формы и расположения можно ограничивать полем допуска размера (см. раздел 1.8).

На чертежах **допуски формы и расположения** поверхностей указывают только, когда они **должны быть меньше допусков размера** или неуказанных допусков по ГОСТ 25670-83.

Назначение степени точности формы в зависимости от квалитета размера можно осуществлять, пользуясь табл. 5.4.

Таблица 5.4

Степень точности формы цилиндрической поверхности в зависимости от квалитета и уровня относительной геометрической точности

Квалитет	Уровень относительной геометрической точности формы	Степень точности формы
5	A	4
	B	3
	C	2
6	A	5
	B	4
	C	3
7	A	6
	B	5
	C	4
8	A	7
	B	6
	C	5

Степень точности формы и расположения для уровня *A* всегда на единицу меньше номера квалитета, поэтому легко дальше продолжить табл. 5.4 для любых квалитетов.

Рассмотрим пример нормирования отклонения от цилиндричности (рис. 5.40). Вал обрабатывается под подшипник качения, поэтому диаметр и поле допуска вала выбраны верно. Как получено отклонение от цилиндричности?

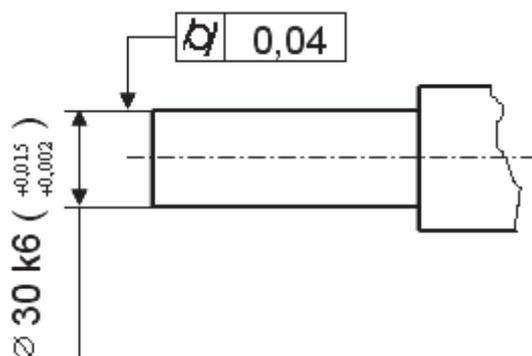


Рис. 5.40. Характерная ошибка при нормировании точности формы

По правилам нормирования для поверхности под подшипник необходимо выбрать повышенные требования к точности формы. То есть от допуска на размер нужно взять 20 % для определения допуска формы

$$T_{fz} = 0,2 \times 0,013 = 0,0026 \approx 0,003 \text{ мм.}$$

В соответствии с табл. 5.4 определим степень точности формы вала. Для 6 качества и повышенного уровня точности формы получаем 4 степень точности формы. По таблицам отклонений цилиндричности для диаметра 30 и степени точности формы 4 допуск цилиндричности равен 3 мкм или 0,003 мм, что подтверждает полученное расчётом значение.

Таким образом, на чертеже вала должно стоять отклонение от цилиндричности, равное 0,003 мм.

5.7. Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей

Вид допуска формы и расположения принято обозначать на чертеже знаками (графическими символами), приведенными в табл. 5.5. Знак и числовое значение допуска вписывают в рамку (размеры рамки произвольные), указывая на первом месте знак, на втором – числовое значение допуска в миллиметрах (без указания единицы) и на третьем (при необходимости) – буквенное обозначение базы или поверхности, с которой связан допуск расположения (см. примеры обозначения). Рамку соединяют с элементом, к которому относится допуск, сплошной линией, заканчивающейся стрелкой. Если допуск относится к оси или плоскости симметрии, соединительная линия должна быть продолжением размерной; если допуск от-

носится к общей оси (плоскости симметрии), соединительную линию проводят к общей оси.

Таблица 5.5

Условные обозначения допусков на отклонения формы и расположения поверхностей

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуск формы	Допуск плоскостности	
	Допуск прямолинейности	
	Допуск цилиндричности	
	Допуск круглости	
	Допуск профиля продольного сечения	
Допуск расположения	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск наклона	
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
	Позиционный допуск	
	Допуск пересечения осей	
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения	
	Допуск торцового биения	
	Допуск биения в заданном направлении	
	Допуск полного радиального биения	
	Допуск полного торцового биения	
	Допуск формы заданного профиля	
	Допуск формы заданной поверхности	

Перед числовым значением допуска следует указывать:

- 1) символ \varnothing , если поле допуска задано его диаметром (см. рис. 5.39);
- 2) символ R, если поле допуска задано радиусом (см. рис. 5.39);
- 3) символ T, если допуски симметричности, пересечения осей, формы заданной поверхности, а также позиционные заданы в диаметральном выражении (см. рис. 5.38);
- 4) символ T/2 для тех же видов допусков, если они заданы в радиусном выражении (см. рис. 5.33);
- 5) слово «сфера» и символы \varnothing и R, если поле допуска сферическое (задача 5 из раздела 5.8).

Если допуск относится к участку поверхности заданной длины (площади), то ее значение указывают рядом с допуском, отделяя от него наклонной линией (задача 7 из раздела 5.8). Если необходимо назначить допуск на всей длине поверхности и на заданной длине, то допуск на заданной длине указывают под допуском на всей длине (задача 8 из раздела 5.8).

Суммарные допуски формы и расположения поверхности, для которых не установлены отдельные графические знаки, обозначают знаками составных допусков: сначала знак допуска расположения, затем знак допуска формы (задача 9 из раздела 5.8).

Базу обозначают зачерненным треугольником, который соединяют соединительной линией с рамкой допуска. Чаще базу обозначают буквой и соединяют ее с треугольником.

Если базой является ось или плоскость симметрии, треугольник располагают в конце размерной линии соответствующего размера поверхности. В случае недостатка места стрелку размерной линии допускаются заменять треугольником.

Обозначение зависимых допусков:

Если допуск расположения или формы не указан как зависимый, то его считают независимым.

Зависимые допуски расположения и формы обозначают условным знаком (буквой «М» в кружке), который помещают:

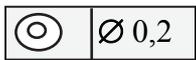
1) после числового значения допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемых поверхностей (задача 6 из раздела 5.8);

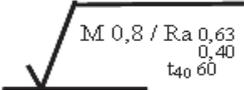
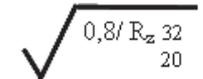
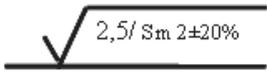
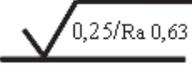
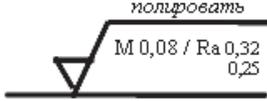
2) после буквенного обозначения базы или без буквенного обозначения базы в третьей части рамки, если этот допуск связан с действительными размерами базовой поверхности (см. рис. 5.34);

3) после числового значения допуска и буквенного обозначения базы или без буквенного обозначения базы, если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элемента (см. рис. 5.39).

5.8. Задачи к самостоятельной работе

Расшифровать обозначения:

Вариант задачи	Обозначение	
0		
1		

Вариант задачи	Обозначение			
2	 R 0,1			
3	 T 0,2			
4	 T/2 0,1			
5	 сфера \varnothing 0,1			
6	 \varnothing 0,04  			
7	 0,1/200×100			
8	 <table border="1" data-bbox="622 1046 778 1124"> <tr><td>0,06</td></tr> <tr><td>0,01/100</td></tr> </table>	0,06	0,01/100	
0,06				
0,01/100				
9	 <table border="1" data-bbox="598 1182 798 1238"> <tr><td>0,03</td><td>A</td></tr> </table>	0,03	A	
0,03	A			

6. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

6.1. Виды и основные параметры резьб

В зависимости от эксплуатационного назначения резьбы делятся на общие и специальные.

К резьбам общего назначения относятся: *крепежные* (метрическая, дюймовая), *кинематические* (трапецидальная, прямоугольная, упорная), *трубные* (цилиндрическая, коническая), *арматурные*.

Резьбы специального назначения (круглая, окулярная и т.д.) применяются только в определенных изделиях.

Резьбы подразделяются:

– по профилю витков на *треугольные, трапецидальные, упорные* (пилообразные), *прямоугольные, круглые*;

– по числу заходов на *однозаходные, многозаходные*;

– в зависимости от направления вращения контура осевого сечения на *правые* и *левые*;

– по принятой единице измерения линейных размеров на *метрические* и *дюймовые*.

Из всего многообразия резьб нами будет рассмотрена крепежная цилиндрическая метрическая резьба. Номинальные размеры параметров резьбы общие как для наружной (болта), так и для внутренней (гайки) резьб. Основные параметры цилиндрической резьбы (ГОСТ 11708-82) следующие (рис. 6.1):

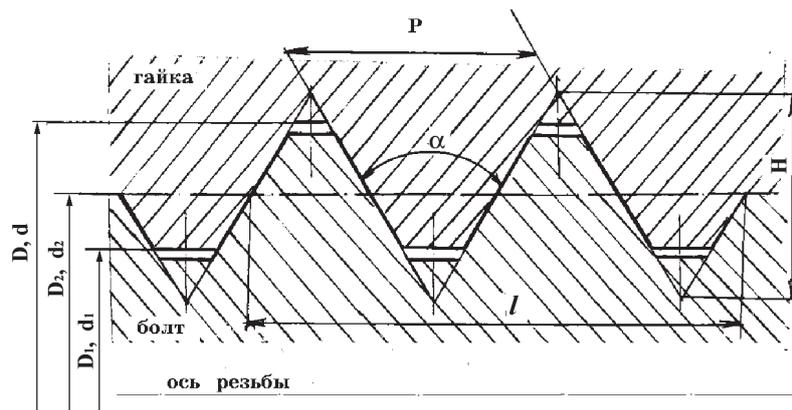


Рис. 6.1. Параметры резьбового соединения

- наружный диаметр (d, D);
- средний диаметр (d_2, D_2);
- внутренний диаметр (d_1, D_1);
- шаг резьбы (P);
- угол профиля резьбы (α);
- высота исходного треугольника (H);
- угол подъема (ψ);
- длина свинчивания (l).

6.2. Допуски и посадки метрических резьб

В зависимости от эксплуатационных требований к степени подвижности резьбовых соединений стандартами установлены поля допусков, образующие посадки трех групп: с зазором (ГОСТ 16093-81), переходные (ГОСТ 24834-81) и с натягом (ГОСТ 4608-81).

Наружная резьба (болт) нормируется по среднему и наружному диаметрам (d_2 и d), внутренняя резьба (гайка) – по среднему и внутреннему диаметрам (D_2 и D_1). Допуски этих диаметров резьбы устанавливаются по степеням точности, которые обозначаются цифрами. Степени точности диаметров резьбы приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Степени точности диаметров резьбы

Вид резьбы	Диаметр резьбы	Степень точности
Наружная	d_2	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10*
	d	4, 6, 8
Внутренняя	D_2	4, 5, 6, 7, 8, 9*
	D_1	4, 5, 6, 7, 8

* Только для резьбы на деталях из пластмасс

Допуски диаметров d_1 и D не устанавливаются.

Положение поля допуска диаметра резьбы определяется основным отклонением (верхним es для наружной резьбы и нижним EI для внутренней) и обозначается буквой латинского алфавита: строчной для наружной резьбы и прописной для внутренней. Основные отклонения диаметров резьбы для посадок с зазором приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Основные отклонения диаметров резьбы

Вид резьбы	Диаметр резьбы	Основное отклонение
Наружная	d_2	d, e, f, g, h
	d	d, e, f, g, h
Внутренняя	D_2	E, F, G, H
	D_1	E, F, G, H

Длины свинчивания резьбы подразделяются на три группы: короткие (S), нормальные (N) и длинные (L).

Поле допуска диаметра резьбы образуется сочетанием степени точности и основного отклонения. Поле допуска резьбы образуется сочетанием поля допуска среднего диаметра (d_2, D_2) с полем допуска диаметра выступов (диаметров d и D_1).

Обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из цифры, обозначающей степень точности, и буквы, обозначающей основное отклонение. Например:

4h, 6g, 6H.

Обозначение поля допуска резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра, помещенного на первом месте, и обозначения поля допуска диаметра выступов. Например:

7g 6g; 5H6H,

где 7g – поле допуска диаметра d_2 ;
 6g – поле допуска диаметра d ;
 5H – поле допуска диаметра D_2 ;
 6H – поле допуска диаметра D_1 .

Если обозначение поля допуска диаметра выступов совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, то оно в обозначении поля допуска резьбы не повторяется. Например:

6g; 6H,

где 6g – поле допуска диаметров d_2 и d ;
6H – поле допуска диаметров D_2 и D_1 .

В условном обозначении резьбы обозначение поля допуска должно следовать за обозначением размера резьбы.

Примеры обозначения резьбы

С крупным шагом:

M12 – 6g (наружная резьба);
M12 – 6H (внутренняя резьба).

С мелким шагом:

M12 × 1 – 6g7g (наружная резьба);
M12 × 1 – 4H5H (внутренняя резьба).

Левой резьбы:

M12 × 1 LH – 6g (наружная резьба);
M12 × 1 LH – 6H (внутренняя резьба).

В соответствии со сложившейся во многих странах практикой поля допусков сгруппированы в три класса точности: точный, средний и грубый. Понятие о классах точности условное (на чертежах и калибрах указывают не классы, а поля допусков), его используют для сравнительной оценки точности резьбы.

Длина свинчивания (N) в условном обозначении резьбы не указывается.

Длина свинчивания, к которой относится допуск резьбы, должна быть указана в миллиметрах в обозначении резьбы в следующих случаях:

- 1) если она относится к группе N;
- 2) если она относится к группе S, но меньше, чем вся длина резьбы.

Пример обозначения резьбы с длиной свинчивания, отличающейся от нормальной:

M12 – 7g6g – 30.

Посадка в резьбовом соединении обозначается дробью, в числителе которой указывают обозначение поля допуска внутренней резьбы, а в знаменателе – обозначение поля допуска наружной резьбы. Например:

M12 – 6H/6g;
M12 × 4H5H/7g6g;
M12 × 1 LH – $\frac{6H}{6g}$.

Переходные посадки в резьбовых соединениях применяются, если необходимо обеспечить их неподвижность в процессе работы без создания большого натяга и предназначены для наружных резьб (резьба на ввинчиваемом конце шпильки).

Для переходных посадок предусмотрены поля допусков:

- на средний диаметр наружной резьбы (d_2) – 4jh; 4jk; 2m;
- на средний диаметр внутренней резьбы (D_2) – 3H; 4H; 5H;
- на внутренний диаметр внутренней резьбы (D_1) – 6H;
- на наружный диаметр наружной резьбы (d) – 6g (в обозначении не указывается).

Посадки с натягом в резьбовых соединениях применяются, когда необходимо устранить возможность самоотвинчивания без применения дополнительных элементов заклинивания (только за счет натяга), предназначены эти посадки для нагруженных резьб.

Для посадки с натягом предусмотрены поля допусков:

- на средний диаметр наружной резьбы (d_2) – 3n, 3p, 2r;
- на средний диаметр внутренней резьбы (D_2) – 2H;
- на наружный диаметр наружной резьбы (d) – 6e, 6c;
- на внутренний диаметр внутренней резьбы (D_1) – 4D, 5D, 4C, 5C.

Незначительное увеличение натяга в резьбовом соединении может вызвать быстрый рост напряжений и появление пластических деформаций, поэтому возникает необходимость проведения селективной сборки с сортировкой резьбовых деталей на две или три размерные группы (рис. 6.2).

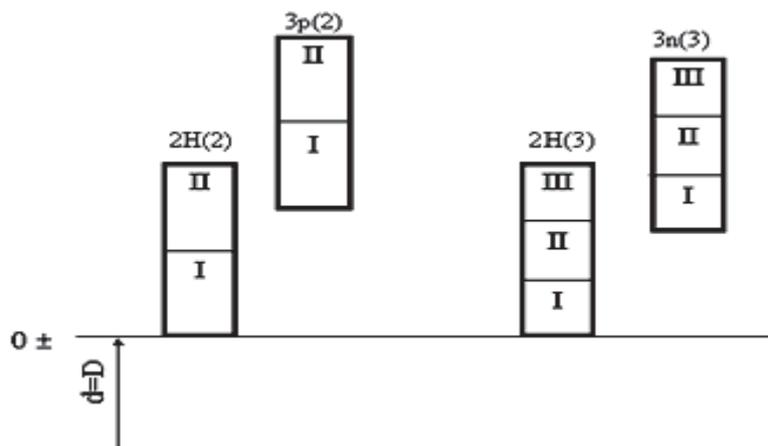


Рис. 6.2. Образование натяга за счёт метода селекции

При обозначении посадок с натягом резьбовых соединений в скобках указывается число сортировочных групп по среднему диаметру. Например:

$$M12 - 2H5C(2)/3p(2),$$

где в скобках указано число сортировочных групп по среднему диаметру.

6.3. Задачи к самостоятельной работе

Расшифровать условное обозначение резьбы для следующих вариантов:

Вариант	Условные обозначения резьб	
0	M22 × 2 – 6H/6g;	M36 × 1,5 – 2H5D(2)/3p(2)
1	M15 × 1 – 7H/8g;	M20 × 2 – 2H4C(3)/3n(3)
2	M30 – 6H/8g;	M6 LH – 6H/6g
3	M24 × 1 – 7H/6g;	M27 × 2 – 3H6H/2m
4	M40 – 6H/6g;	M18 × 2 – 6H/8g
5	M20 × 1 – 7H/8g7g;	M15 × 1 – 4H6H/4jk
6	M27 × 2 – 6H/8g;	M22 × 2 – 5H6H/4jh
7	M24 × 1LH – 3H6H/2m;	M30 – 2H5C/2r
8	M42 × 3 – 4H5H/4g;	M16 × 1,5 – 6H/5g6g
9	M15 × 1 – 2H5C/2r;	M30LH – 4H5H/4h

6.4. Пример решения задачи

Расшифровать обозначение посадки резьбового соединения.

Условие: Дано резьбовое соединение $M24 - \frac{6H}{6g}$.

Решение:

Резьба метрическая, наружный диаметр резьбы – 24 мм. Поле допуска резьбы гайки 6H, т.е. поле допуска среднего диаметра (D_2) – 6H и поле допуска внутреннего диаметра (D_1) – 6H. Поле допуска резьбы болта 6g, т.е. поле допуска среднего диаметра (d_2) – 6g, поле допуска наружного диаметра (d) – 6g.

7. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

7.1. Основные понятия и определения

Погрешности изготовления и сборки зубчатых передач вызывают динамические нагрузки, шум, вибрации, нагрев, концентрацию напряжений на отдельных участках зубьев. При назначении допусков на зубчатые колеса и точность монтажа для достижения качественной работы передачи преследуются следующие цели:

- 1) обеспечить **кинематическую точность**, т.е. согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес передачи;
- 2) обеспечить **плавность работы**, т.е. ограничить циклические погрешности, многократно повторяющиеся за один оборот колеса;
- 3) обеспечить **полноту контакта зубьев**, т.е. такое прилегание зубьев по длине и высоте, при котором нагрузка от одного зуба к другому

передается по контактными линиям, максимально использующим всю активную поверхность зуба;

4) обеспечить **боковой зазор** для устранения заклинивания зубьев при работе и ограничения мертвых ходов в передаче.

В связи с этим для зубчатых колес и передач по ГОСТ 1643-81 установлены нормы: кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и бокового зазора.

Этот стандарт распространяется на эвольвентные цилиндрические зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления с диаметром делительной окружности до 6300 мм, модулем от 1 до 55 мм, шириной венца до 1250 мм.

ГОСТ 1643-81 устанавливает 12 степеней точности зубчатых колес и передач, которые обозначаются в порядке убывания точности цифрами 1, 2, 3... 12. Для каждой степени точности (кроме 1 и 2) установлены независимые нормы допустимых отклонений параметров, определяющих кинематическую точность (табл. 7.1), плавность работы (табл. 7.2) и контакт зубьев передачи (табл. 7.3).

Таблица 7.1

Показатели кинематической точности

Нормируемые показатели точности	Обозначение	Степень точности
Зубчатые колёса		
Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса	F'_{ir}	3 – 9
Накопленная погрешность шага и накопленная погрешность k шагов	F_{Pr} F_{Pkr}	3 – 6
Накопленная погрешность шага	F_{Pr}	7; 8
Погрешность обката и радиальное биение зубчатого венца	F_{cr} F_{rr}	3 – 8
Колебание длины общей нормали и колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса	F_{vwr} F''_{ir}	3 – 8
Колебание длины общей нормали и радиальное биение зубчатого венца	F_{vwr} F_{rr}	5 – 8
Погрешность обката и колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса	F_{cr} F''_{ir}	5 – 8
Колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот колеса	F''_{ir}	9 – 12
Радиальное биение зубчатого венца	F_{rr}	9 – 12
Зубчатые передачи		
Наибольшая накопленная погрешность передачи	F'_{ior}	3 – 8

Таблица 7.2

Показатели плавности работы зубчатых колёс

Нормируемые показатели точности	Обозначение	Степень точности
Зубчатые колёса		
Местная кинематическая погрешность колеса	f'_{ir}	3 – 8
Циклическая погрешность зубцовой частоты колеса	f_{zr}	3 – 8
Циклическая погрешность зубчатого колеса	f_{zkr}	3 – 8
Отклонение шага зацепления и погрешность профиля зуба	f_{Pbr}, f_{fr}	3 – 8
Отклонение шага зацепления и отклонение шага	f_{Pbr}, f_{Ptr}	3 – 8
Колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе	f''_{ir}	5 – 12
Отклонение шага зацепления	f_{Pbr}	9 – 12
Отклонение шага	f_{Ptr}	9 – 12
Зубчатые передачи		
Местная кинематическая погрешность и циклическая погрешность зубцовой части передачи	f'_{ior} f_{zror}	3 – 8
Циклическая погрешность передачи	f_{zkor}	3 – 8

Таблица 7.3

Нормы контакта зубьев

Нормируемые показатели точности	Обозначение	Допуск	Степень точности
Косозубые и прямозубые зубчатые колёса			
Погрешность направления зуба	$F_{\beta r}$	F_{β}	3 – 12
Суммарная погрешность контактной линии	F_{kr}	F_k	3 – 12
Зубчатые передачи			
Отклонение от параллельности осей и перекос осей зубчатых колёс	f_{xr} f_{yr}	f_x f_y	3 – 12
Суммарное пятно контакта			3 – 11
Мгновенное пятно контакта			3 – 11

7.2. Допуски зубчатых передач

Системой допусков на зубчатые передачи устанавливают гарантированный боковой зазор ($j_{n \min}$), который называют наименьшим предписанным боковым зазором. Его величину определяют вне зависимости от степени точности колес и передач.

Для зубчатых передач с модулем свыше 1 мм установлено шесть видов сопряжений:

A, B, C, D, E, H,

которые определяют величину гарантированного наименьшего бокового зазора $j_{n \min}$. На каждый вид сопряжения установлен допуск (T_{jn}) бокового зазора, обозначенный строчной буквой латинского алфавита:

– видам сопряжения Н и Е соответствует вид допуска на боковой зазор **h**;

– сопряжениям D, C, B и A – соответственно виды допусков **d, c, b** и **a**.

Вместо предусмотренных допусков для каждого вида сопряжений при необходимости могут быть использованы увеличенные допуски **x, y, z**.

Для нерегулируемых передач с модулем свыше 1 мм установлено шесть классов отклонений межосевого расстояния, обозначаемых в порядке убывания точности римскими цифрами:

I, II, III, IV, V, VI.

Гарантированный боковой зазор в каждом сопряжении обеспечивается при соблюдении предусмотренных классов отклонений межосевого расстояния (табл. 7.4):

– передачи с сопряжениями Н и Е обеспечиваются при II классе;

– передачи с сопряжениями D, C, B, A – соответственно при III, IV, V, VI классах.

В обоснованных случаях это соответствие между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния может изменяться.

Таблица 7.4

Показатели бокового зазора

Показатель	Виды сопряжений					
	A	B	C	D	E	H
Степень точности по нормам плавности	3 – 12	3 – 11	3 – 9	3 – 8	3 – 7	3 – 7
Допуск на боковой зазор	a	b	c	d	h	h
Класс межосевого расстояния	VI	V	IV	III	II	II

7.3. Условные обозначения точности зубчатых колес и передач

При обозначении точности зубчатых колес и передач указывают степени точности по трем основным погрешностям зубчатых колес (кинематической, плавности, боковому контакту), вид сопряжения зубьев колес в передаче и вид допуска на боковой зазор. Вид допуска на боковой зазор в обозначении не указывается, если соблюдено соответствие с видом сопряжения (см. табл. 7.4).

Если все погрешности назначены по одной степени точности, то обозначение производится одной цифрой и буквой. Например:

7-С ГОСТ 1643-81,

где 7 – степень точности по всем нормам точности (кинематической, плавности работы и контакта зубьев); С – вид сопряжения; с – допуск на боковой зазор (в обозначении не указан).

При комбинировании норм из разных степеней точности обозначение примет следующий вид:

8-7-6 Ba ГОСТ 1643-81,

где 8 – степень точности по нормам кинематической точности; 7 – степень точности по нормам плавности; 6 – степень точности по нормам контакта зубьев; B – вид сопряжения; a – вид допуска на боковой зазор.

При изменении соответствия между видом сопряжения и классом отклонения межосевого расстояния в обозначении после вида сопряжения и вида допуска через косую черту указывается класс отклонения межосевого расстояния и через тире – рассчитанный гарантированный боковой зазор ($j_{n \min}$), в микрометрах. Например:

7 – C a / V – 128 ГОСТ 1643-81.

Если в цилиндрических зубчатых передачах на какую-либо из норм точности **степень точности не задаётся**, то вместо номера этой степени точности **ставится буква N**, например 7 – N – 6 N ГОСТ 1643-81.

7.4. Контроль элементов зубчатых колес

Контроль колес по всем показателям не является необходимым. Устанавливаются взаимно равноправные комплексы нормируемых показателей, подлежащих контролю. Один из комплексов приведен в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Комплекс показателей для контроля цилиндрических колес

Наименование норм точности	Наименование показателя	Обозначение	
		показателя	допуска показателя
Кинематическая	1) Радиальное биение зубчатого венца	Frr	Fr
	2) Колебание длины общей нормали	Vwr	Vw
Плавность работы	1) Отклонение шага зацепления	fpbr	fpb
	2) Погрешность профиля зуба	f fr	ff
Контакт зубьев колес в передаче	Суммарное пятно контакта	–	–

7.5. Задачи к самостоятельной работе

Расшифровать условное обозначение точности цилиндрических зубчатых колес и передач (ГОСТ 1643-81) по следующим вариантам:

Вариант	Обозначение	Вариант	Обозначение	Вариант	Обозначение	Вариант	Обозначение
1	6B	4	9H	7	8A	0	7-6-7-Ba/VI-196
2	7-6-7 D	5	6-6-7 E	8	4-5-4 C		
3	3-4-5 D	6	5H	9	3-4-4 H		

8. РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ

8.1. Термины, определения и обозначения

Качество машин и приборов обеспечивается, в числе других мер, точностью расположения деталей, узлов и механизмов, образующих конечное изделие. При этом число операций, связанных с подгонкой деталей и регулированием их положения в процессе сборки, должно сводиться к минимуму. Зазоры, предельные размеры и другие параметры, координирующие взаимное положение собираемых объектов, как правило, зависят от режимов работы, конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей деталей, узлов и конечных изделий, поэтому часто взаимосвязь между предельными размерами и допусками собираемых деталей и узлов устанавливается с помощью расчетов, основанных на теории размерных цепей.

Размерная цепь – совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи.

С помощью размерных цепей можно решать конструкторские, технологические, измерительные и прочие задачи. Расчет размерных цепей позволяет обоснованно назначать допуски на взаимосвязанные размеры деталей и сборочных единиц; облегчает правильную простановку размеров на чертежах, согласованную с порядком обработки деталей и сборки механизмов. Размерные цепи применяют для определения операционных допусков, пересчета конструкторских баз на технологические, для выбора измерительных баз и т.д.

Звено размерной цепи – один из размеров, образующих размерную цепь. Один и тот же механизм, даже одна деталь, могут иметь несколько размерных цепей.

Размерные цепи обозначают прописными буквами русского алфавита *A, B, B* и т.д. Звенья, образующие размерную цепь, делятся на составляющие и замыкающее. Составляющие звенья обозначают буквой, принятой для размерной цепи, с порядковыми цифровыми индексами: $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$; $B_1, B_2 \dots B_n$ и т.д. Замыкающее звено в размерной цепи обозначают той же буквой с индексом «0»: A_0, B_0, B_0 и т.д.

Замыкающее звено – звено размерной цепи, которое получается последним в процессе изготовления или сборки.

Составляющие звенья могут быть увеличивающими или уменьшающими:

– **увеличивающее звено** – звено, с увеличением которого увеличивается и замыкающее звено;

– **уменьшающее звено** – звено, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается.

Увеличивающие звенья обозначают буквой со стрелкой вправо, например:

$$\vec{A}_1, \vec{A}_2 \text{ и т.д.},$$

уменьшающие – со стрелкой влево, например:

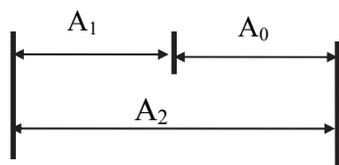
$$\bar{A}_3, \bar{A}_4 \text{ и т.д.}$$

В качестве замыкающих звеньев используют детали (например, комплект прокладок), зазоры, натяги и т.п. Поэтому числовые значения указанных звеньев могут быть положительными, отрицательными и равными нулю.

При решении размерных цепей встречаются **два вида задач**.

Первая задача

По заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев цепи определить номинальный размер и предельные отклонения замыкающего звена. Например:



Дано:

$$A_1 = 28 \pm 0,02 \text{ мм}; A_2 = 64_{-0,08} \text{ мм}.$$

Определить:

$$A_0, TA_0, Es(A_0), Ei(A_0).$$

Вторая задача

По заданным номинальным размерам всех звеньев цепи и заданным предельным отклонениям замыкающего звена определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев цепи. Например:



Дано:

$$A_1 = 215 \text{ мм}; A_2 = 60 \text{ мм}; A_3 = 155 \text{ мм};$$

$$A_0 = 0^{+0,12} \text{ мм}.$$

Определить: $TA_1, TA_2, TA_3, Es(A_1), Ei(A_1),$
 $Es(A_2), Ei(A_2), Es(A_3), Ei(A_3).$

8.2. Методы решения размерных цепей

Существуют следующие методы решения размерных цепей:

1) метод, обеспечивающий полную взаимозаменяемость, или метод «максимума-минимума»;

2) методы, обеспечивающие неполную взаимозаменяемость:

– теоретико-вероятностный;

– групповой подборки деталей (селективная сборка);

– регулирования;

– пригонки.

8.3. Основные расчетные формулы метода «максимум-минимум»

Метод «максимума-минимума» основан на предположении, что при сборке механизма возможно сочетание увеличивающих звеньев, изготовленных по наибольшим предельным размерам, с уменьшающими звеньями, изготовленными по наименьшим предельным размерам, или наоборот.

Этот метод расчета обеспечивает полную взаимозаменяемость в процессе сборки и эксплуатации изделий. Однако допуски составляющих размеров, вычисленные по этому методу, особенно для размерных цепей, содержащих много звеньев, могут получиться в техническом и экономическом отношении неоправданно малыми. Поэтому данный метод применяют для проектирования размерных цепей, имеющих малое число составляющих звеньев невысокой точности.

Первая задача

Номинальный размер замыкающего звена можно определить по формуле (см. пример первой задачи):

$$A_0 = \bar{A}_2 - \bar{A}_1.$$

Если принять общее количество звеньев цепи n , то количество составляющих будет $n - 1$. Примем: m – количество увеличивающих звеньев, p – количество уменьшающих, тогда

$$n - 1 = m + p.$$

В общем виде формула для расчета номинального размера замыкающего звена будет такой:

$$A_0 = \sum_{i=1}^m \bar{A}_i - \sum_{i=m+1}^p \bar{A}_i. \quad (8.1)$$

Для примера (раздел 8.1)

$$A_0 = A_2 - A_1 = 64 - 28 = 36 \text{ мм.}$$

На основании равенства (8.1) получим

$$A_{0\max} = \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i\max} - \sum_{i=m+1}^p \bar{A}_{i\min}. \quad (8.2)$$

$$A_{0\min} = \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i\min} - \sum_{i=m+1}^p \bar{A}_{i\max}. \quad (8.3)$$

Вычтем почленно из равенства (8.2) равенство (8.3), получим

$$TA_0 = \sum_{i=1}^m T\bar{A}_i + \sum_{i=m+1}^p T\bar{A}_i.$$

Так как сумма увеличивающих и уменьшающих звеньев есть все составляющие звенья цепи, то полученное равенство можно упростить

$$TA_0 = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i. \quad (8.4)$$

Таким образом, допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех составляющих звеньев в цепи.

Чтобы вывести формулы для расчета предельных отклонений замыкающего звена, вычтем почленно из равенства (8.2) равенство (8.1) и из равенства (8.3) равенство (8.1), получим

$$Es(A_0) = \sum_{i=1}^m Es(\bar{A}_i) - \sum_{i=m+1}^p Ei(\bar{A}_i). \quad (8.5)$$

$$Ei(A_0) = \sum_{i=1}^m Ei(\bar{A}_i) - \sum_{i=m+1}^p Es(\bar{A}_i). \quad (8.6)$$

Таким образом, верхнее отклонение замыкающего размера равно разности сумм верхних отклонений увеличивающих и нижних отклонений уменьшающих размеров; нижнее отклонение замыкающего размера равно разности сумм нижних отклонений увеличивающих и верхних отклонений уменьшающих размеров.

Для примера первой задачи (см. раздел 8.1) получим

$$TA_0 = TA_1 + TA_2 = 0,04 + 0,08 = 0,12 \text{ мм};$$

$$Es(A_0) = Es(\bar{A}_2) - Ei(\bar{A}_1) = 0 - (-0,02) = +0,02 \text{ мм}.$$

$$Ei(A_0) = Ei(\bar{A}_2) - Es(\bar{A}_1) = -0,08 - 0,02 = -0,10 \text{ мм}.$$

Таким образом,

$$A_0 = 36_{-0,10}^{+0,02}.$$

Определим допуск замыкающего звена через полученные предельные отклонения

$$TA_0 = Es(A_0) - Ei(A_0) = 0,02 - (-0,10) = +0,12.$$

Это значение совпадает с ранее найденным значением допуска, что подтверждает правильность решения задачи.

Вторая задача

При решении второй задачи допуски составляющих размеров определяют по заданному допуску замыкающего размера TA_0 одним из следующих способов: равных допусков или допусков одного качества.

1) При решении **способом равных допусков** – на составляющие размеры назначают примерно равные допуски, руководствуясь средним допуском.

Итак, предполагаем, что

$$TA_1 = TA_2 = TA_3 = \dots = TA_{n-1} = T_{cp} \cdot A_i,$$

тогда сумма допусков всех составляющих размеров равна произведению числа составляющих звеньев на средний допуск, т.е.

$$\sum_{i=1}^{n-1} TA_i = (n-1) \cdot T_{cp} \cdot A_i.$$

Подставим это выражение в равенство (8.4): $TA_0 = (n-1) \cdot T_{cp} \cdot A_i$, отсюда

$$T_{cp} \cdot A_i = \frac{TA_0}{n-1}. \quad (8.7)$$

По найденному значению $T_{cp} \cdot A_i$ устанавливают допуски на составляющие размеры, учитывая величину и ответственность каждого размера.

При этом должны быть выполнены следующие условия: принятые допуски должны соответствовать стандартным допускам, сумма допусков составляющих размеров должна равняться допуску замыкающего размера, т.е. должно выполняться равенство (8.4). Если при стандартных допусках равенство (8.4) не может быть обеспечено, то на один составляющий размер устанавливают нестандартный допуск, определяя его значение по формуле

$$TA_j = TA_0 - \sum_{i=1}^{n-2} TA_i. \quad (8.8)$$

Способ равных допусков прост и дает хорошие результаты, если номинальные размеры составляющих звеньев размерной цепи находятся в одном интервале.

Решим пример второй задачи (см. раздел 8.1) способом равных допусков по формуле (8.7)

$$T_{cp} \cdot A_i = \frac{TA_0}{n-1} = \frac{0,12}{4-1} = \frac{0,12}{3} = 0,04 \text{ мм.}$$

Получим

$$A_1 = 215; \quad TA_1 = 0,04;$$

$$A_2 = 60; \quad TA_2 = 0,04;$$

$$A_3 = 155; \quad TA_3 = 0,04.$$

В этом примере равенство (8.4) соблюдается, и корректировать допуск одного из составляющих размеров нет необходимости.

Распишем равенство (8.5) для данного примера

$$Es(A_0) = Es(\vec{A}_1) - [Ei(\vec{A}_2) + Ei(\vec{A}_3)];$$

$$0,12 = 0,06 - [(-0,03) + (-0,03)].$$

Числовые значения предельных отклонений составляющих размеров выбраны условно.

Получим

$$E_s(A_1) = +0,06; \quad TA_1 = 0,04, \text{ значит,} \quad Ei(A_1) = +0,02;$$

$$Ei(A_2) = -0,03; \quad TA_2 = 0,04, \text{ значит,} \quad Es(A_2) = +0,01;$$

$$Ei(A_3) = -0,03; \quad TA_3 = 0,04, \text{ значит,} \quad Es(A_3) = +0,01.$$

Проверим соблюдение равенства (8.6)

$$Ei(A_0) = Ei(\bar{A}_1) - [Es(\bar{A}_2) + Es(\bar{A}_3)];$$

$$0 = 0,02 - (0,01 + 0,01);$$

$$0 = 0.$$

Таким образом, получим ответ

$$A_1 = 215 \begin{matrix} +0,06 \\ +0,02 \end{matrix}; \quad A_2 = 60 \begin{matrix} +0,01 \\ -0,03 \end{matrix}; \quad A_3 = 155 \begin{matrix} +0,01 \\ -0,03 \end{matrix}.$$

2) Более универсальным и упрощающим подбор допусков при любом разнообразии размеров составляющих звеньев является **способ допусков одного качества**.

При этом способе на размеры всех составляющих звеньев (кроме корректирующего A_j) назначают допуски из одного качества с учетом номинальных размеров звеньев.

Рекомендуется на охватывающие размеры назначать допуски с основным отклонением H , а на охватываемые размеры – с основным отклонением h .

Для вывода формулы исходной зависимостью служит равенство (8.4)

$$TA_0 = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i.$$

Однако допуск любого размера можно вычислить по формуле

$$TA_j = a \cdot i_j,$$

где a – число единиц допуска, постоянное в пределах одного качества (табл. 8.1); i_j – единица допуска зависит от номинального размера составляющего звена (табл. 8.2).

Подставим в формулу (8.4) вместо допусков составляющих размеров произведение: $a \cdot i_j$

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{n-1} (a \cdot i_j).$$

Так как $a = \text{const}$, то $TA_0 = a \sum_{j=1}^{n-1} i_j$, отсюда

$$a = \frac{TA_0}{\sum_{j=1}^{n-1} i_j}. \quad (8.9)$$

По найденному числу единиц допуска (a) подбирают ближайший квалитет, по которому назначают допуски составляющих размеров. Для удовлетворения условия (8.4) на один из составляющих размеров, как и в предыдущем способе, допуск назначают по формуле (8.8).

Таблица 8.1

Число единиц допуска

Квалитет	a	Квалитет	a	Квалитет	a	Квалитет	a
5	7	8	25	11	100	14	400
6	10	9	40	12	160		
7	16	10	64	13	250		

Таблица 8.2

Значение единиц допуска

Интервалы размеров, мм	i, мкм	Интервалы размеров, мм	i, мкм
До 3	0,55	80 – 120	2,17
3 – 6	0,73	120 – 180	2,52
6 – 10	0,90	180 – 250	2,89
10 – 18	1,08	250 – 315	3,22
18 – 30	1,31	315 – 400	3,54
30 – 50	1,56	400 – 500	3,89
50 – 80	1,86		

Решим пример второй задачи способом назначения допусков одного квалитета по формуле (8.9)

$$a = \frac{TA_0}{\sum_{j=1}^{n-1} i_j} = \frac{0,12 \cdot 1000}{2,9 + 1,86 + 2,52} = \frac{120}{7,28} = 16,48.$$

Принимаем: $a = 16$, что соответствует седьмому квалитету IT7.

По таблицам справочников назначаем допуски составляющих звеньев цепи по седьмому квалитету:

$$TA_1 = 46 \text{ мкм}; \quad TA_2 = 30 \text{ мкм}; \quad TA_3 = 40 \text{ мкм}.$$

Равенство (8.4) не соблюдается, так как $120 \neq 46 + 30 + 40$.

В качестве корректирующего используем звено A_2 . Тогда по формуле (8.8) допуск этого звена будет равен

$$TA_2 = TA_0 - (TA_1 + TA_3); \quad TA_2 = 120 - (46 + 40) = 34 \text{ мкм}.$$

Итак, получим

$$A_1 = 215, TA_1 = 0,046; A_2 = 60, TA_2 = 0,034; A_3 = 155, TA_3 = 0,040.$$

Верхнее отклонение замыкающего звена определяется по формуле

$$Es(A_0) = Es(\bar{A}_1) - [Ei(\bar{A}_2) + Ei(\bar{A}_3)];$$
$$0,12 = 0,046 - [(-0,034) + (-0,040)].$$

Получим

$$Es(A_1) = 0,046, \quad Ei(A_1) = 0;$$
$$Ei(A_2) = -0,034, \quad Es(A_2) = 0;$$
$$Ei(A_3) = -0,040, \quad Es(A_3) = 0.$$

Нижнее отклонение замыкающего звена

$$Ei(A_0) = Ei(A_i) - [Es(A_2) + Es(A_3)];$$
$$0 = 0 - (0 + 0);$$
$$0 = 0.$$

Таким образом, получим ответ

$$A_1 = 215^{+0,046}; \quad A_2 = 60_{-0,034}; \quad A_3 = 155_{-0,040}.$$

Выводы

Так как допуск замыкающего звена зависит от числа составляющих размеров, то основное правило проектирования размерных цепей можно сформулировать так: при конструировании деталей, узлов сборочных единиц и механизмов необходимо стремиться к тому, чтобы число размеров, образующих размерную цепь, было минимальным. Это принцип кратчайшей размерной цепи.

На чертежах указывают только составляющие размеры с предписанными отклонениями. Замыкающие размеры обычно получаются автоматически в результате обработки деталей или сборки, поэтому их не контролируют и на чертежах не обозначают.

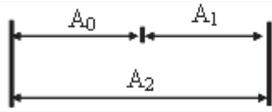
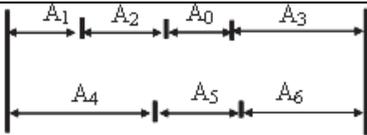
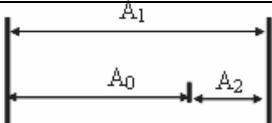
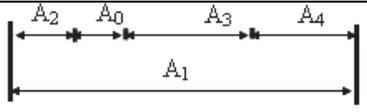
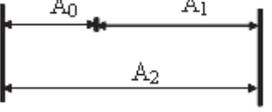
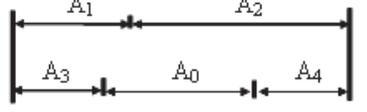
Проставлять на чертежах размеры замкнутыми цепочками не рекомендуется. Особенно недопустимо проставлять замыкающие размеры с отклонениями, так как при изготовлении детали это вызывает брак.

В качестве замыкающих размеров следует принимать наименее ответственные размеры, которые могут иметь большие отклонения.

8.4. Задачи к самостоятельной работе

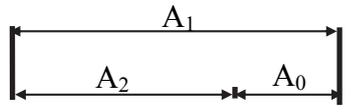
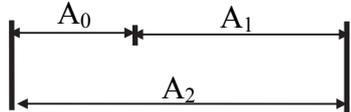
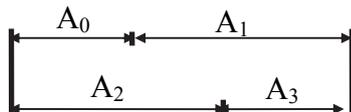
Задача первая

Определить номинальный размер, допуск, предельные отклонения замыкающего размера: A_0 , TA_0 , $E_s(A_0)$, $E_i(A_0)$.

Вариант	Условие задачи	
0		Дано: $A_1 = 25 \pm 0,05$; $A_2 = 50_{-0,02}$
1		Дано: $A_1 = 20_{-0,15}^{+0,03}$; $A_2 = 27_{-0,10}^{+0,17}$; $A_3 = 30_{-0,09}^{+0,23}$; $A_4 = 40 \pm 0,34$; $A_5 = 15_{-0,08}$; $A_6 = 25_{-0,09}^{-0,05}$
2		Дано: $A_1 = 60_{-0,02}$; $A_2 = 20_{-0,02}^{+0,17}$
3		Дано: $A_1 = 100_{-0,25}^{+0,35}$; $A_2 = 22_{-0,24}^{-0,12}$; $A_3 = 48 \pm 0,1$; $A_4 = 20_{+0,06}^{+0,16}$
4		Дано: $A_1 = 24_{-0,12}$; $A_2 = 36_{-0,12}^{+0,024}$;
5		Дано: $A_1 = 55_{-0,19}^{+0,23}$; $A_2 = 125_{-0,50}^{+0,38}$; $A_3 = 32_{-0,9}^{+0,4}$; $A_4 = 45_{-0,12}$;

Задача вторая

Определить допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев цепи: TA_i , $E_s(A_i)$, $E_i(A_i)$.

Вариант	Условие задачи	
6		Дано: $A_1 = 38$; $A_2 = 20$; $A_0 = 18_{-0,2}$
7		Дано: $A_1 = 24$; $A_2 = 36$; $A_0 = 12 \pm 0,4$
8		Дано: $A_1 = 28$; $A_2 = 32$; $A_3 = 13$ $A_0 = 17_{-0,3}^{+0,3}$
9		Дано: $A_1 = 102$; $A_2 = 24$; $A_3 = 86$ $A_0 = 40_{-0,6}$

9. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПОСАДОК ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНАМ

В курсе «Детали машин» изучают конструкции деталей и сборочных единиц машин и методы их расчета. При выполнении самостоятельных работ по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения» на чертежах общих видов и рабочих чертежах задаются посадки цилиндрических сопряжений, а также допуски размеров, допуски формы и расположения поверхностей.

При выборе посадок, допусков размеров деталей, а также допусков формы и расположения следует учитывать: назначение детали в сборочной единице, роль отдельных ее поверхностей (цилиндрических, конических, торцовых), влияние отклонений размеров, формы и расположения осей или поверхностей детали на смежные с ней детали, влияние суммы отклонений точностных параметров всех деталей на качественные показатели изделия (точность и плавность вращения, бесшумность, долговечность).

9.1. Детали подшипниковых узлов

Кольца, втулки

Между подшипниками и базовыми торцами валов или корпусов часто расположены дистанционные кольца и втулки. Условимся называть втулками детали, у которых отношение длины (l) к посадочному диаметру (d или D): $l / d(D) \geq 0,8$, и кольцами, если это отношение меньше 0,8 (рис. 9.1). Число 0,8 в отношении $l / d(D)$ принято из опыта изготовления и эксплуатации изделий машиностроения. Следует иметь в виду, что оно дает лишь грубую, приближенную оценку того, какая поверхность детали является основной базой: цилиндр или торец.

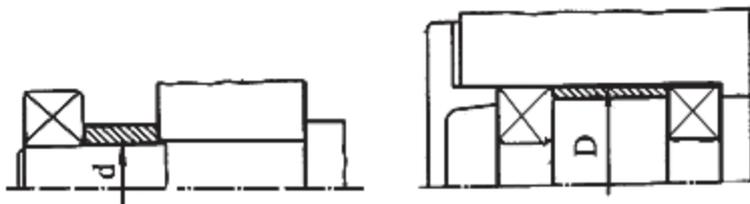


Рис. 9.1. Посадочные места втулок и колец

С уверенностью можно лишь сказать, что при $l / d(D) \geq 1,2$ и посадке с натягом основной базой является цилиндр, а при $l / d(D) \leq 0,5$ и любой посадке базой является торец. Чтобы повысить точность расположения базового торца надо кольцо заменить втулкой, увеличив длину посадочной поверхности до $D l / d(D) \geq 0,8$, при этом следует назначить переходную

посадку с минимальным зазором или небольшим натягом. Например, для **посадки на вал и в корпус**: H7/k6, H7/m6, H7/n6.

Если выбор полей допусков отверстия и вала ничем не обусловлен, рекомендуется принимать **посадки колец на вал**: H11/d11; H10/d10 или H9/d9. При высокой частоте вращения вала ($n \geq 1500 \text{ мин}^{-1}$) в целях снижения возможного дисбаланса посадки колец на вал следует принимать посадки: H8/h8, H8/h7, H8/h6.

Если поля допусков валов заданы в связи с установкой соседних деталей, следует применять для гарантии зазора поля допусков отверстий колец: D11, D10 или D9.

Поле допуска наружного диаметра колец, установленных в отверстиях корпусов, во всех случаях следует принимать d11.

При длине кольца $0,5 < l / d < 0,8$ для него задают посадку с зазором H9/d9/. Такая посадка облегчит также и установку колеса на вал.

Стаканы

В стаканах обычно размещают подшипники фиксирующей опоры вала червяка и опоры вала конической шестерни. Иногда стаканы применяют для удобства сборки. Для легкости установки стаканов в корпусные детали желательно применение посадок с зазором. Но иногда возможно их смещение в пределах зазоров, что вызовет изменение положения оси вращения вала и, как следствие, увеличение концентрации нагрузки, поэтому в соединении стаканов с корпусом зазоры нежелательны. В связи с этим рекомендуется применять следующие переходные посадки для стаканов:

- нерегулируемые в осевом направлении – H7/k6; H7/m6;
- регулируемые в осевом направлении – H7/j_s6.

Крышки подшипников

На рис. 9.2 показаны накладная и закладная крышки без отверстия для прохода вала. Торцовые поверхности крышек свободны и не используются в качестве базовых для установки подшипников качения. Единственное назначение таких крышек – закрыть отверстие корпусной детали. Точное центрирование таких крышек по отверстию корпуса не требуется, поэтому поле допуска центрирующей поверхности накладной крышки принимают по d11 (рис. 9.2, а).

Поле допуска центрирующей поверхности закладных крышек любой конструкции в целях уплотнения против вытекания смазки принимают h8. Общей для всех закладных крышек является посадка выступа крышки в пазу корпуса, которую принимают H11/h11 (рис. 9.2, б).

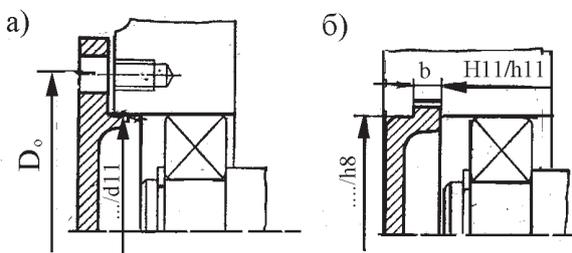


Рис. 9.2. Крышки подшипников

9.2. Зубчатые и червячные передачи

Передача нагрузки с колеса на вал соединением с натягом

Соединение обеспечивает точную установку колеса на вал и высокую нагрузочную способность, поэтому соединения с натягом получают все большее распространение, особенно в редукторостроении, несмотря на высокую концентрацию напряжений, вызываемую соединением.

Основным способом сборки для осуществления соединения с натягом колес с валами является нагрев колеса.

Рекомендуемые посадки:

H7/p6; H7/r6; H7/s6; H8/u8; H8/x8.

Передача момента шпоночным соединением

При передаче через шпоночное соединение вращающего момента возникают значительные местные деформации вала и ступицы около шпоночного паза, а также деформации самой шпонки. Наличие шпоночного паза приводит к асимметричной деформации вала и ступицы, в результате чего давление по рабочим граням шпонки и шпоночным пазам вала и ступицы распределяется неравномерно.

Рекомендуемые посадки:

- для цилиндрических прямозубых колес – H7/p6; H7/r6;
- для цилиндрических косозубых и червячных колес – H7/r6; H7/s6;
- для конических колес – H7/s6; H7/t6;
- для неподвижных колес коробок передач (при необходимости сборки внутри корпуса) – H7/k6; H7/m6.

Передача момента шлицевым соединением

При одинаковых габаритах шлицевые соединения имеют большую нагрузочную способность и обеспечивают большее сопротивление усталости вала, чем шпоночное соединение. Они обеспечивают хорошее центрирование и направляют детали по валу, поэтому они являются основными для соединения с валом подвижных вдоль вала зубчатых колес коробок передач. Рекомендуемые посадки представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Рекомендуемые посадки прямобочного шлицевого соединения

Центрирование по поверхности	Подвижность соединения	Реверсивность передачи	Посадки		
			по диаметру		по боковым сторонам
			центрирующему	нецентрирующему	
d	Подвижное	Нереверсируемая Реверсируемая	H7/f7 H7/g6	H12/a11	F10/f9 D9/h9
D	Неподвижное	Нереверсируемая Реверсируемая	H7/js6 H7/n6	– –	
b	Неподвижное	–	–	H12/a12	F8/js7

Муфты, шкивы, звездочки

Муфты, шкивы, звездочки – эти детали, как правило, надевают на консольные концы валов. В большинстве случаев их монтаж осуществляется после того, как собран основной узел, поэтому одним из основных требований, предъявляемых к соединениям муфт, шкивов, звездочек с валами, является легкость сборки.

Рекомендуемые посадки при применении шпоночных соединений:

- для муфт – H7/k6, H7/m6;
- для звездочек – H7/m6, H7/n6;
- для шкивов – H7/n6.

10. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

«Измеряй все доступное измерению
и делай доступным все недоступное ему»

Галилео Галилей

Нет ни одной области практической деятельности человека, где можно было бы обойтись без количественных оценок, получаемых в результате измерений. Роль измерений непрерывно возрастает во всех областях науки и техники. И это естественно: каждому продвижению вперед в области естественных и технических наук, каждому открытию, созданию новых машин, изделий и материалов предшествует большое число многообразных измерений. Как следствие, растут требования к качеству измерений. Большое значение приобретает также достоверность и надежность измерений. Все больше возрастает и роль ***метрологии – науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.***

Измерения являются одним из путей познания природы человеком. Измерения количественно характеризуют окружающий материальный мир, раскрывая действующие в природе закономерности. Об этом очень образно сказал основоположник отечественной метрологии Д. И. Менделеев: «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять». Известно аналогичное высказывание и основоположника английской метрологии Томсона: «Каждая вещь известна лишь в той степени, в какой её можно измерить».

Без измерений невозможно существование современной науки, промышленности, сельского хозяйства, медицины, торговли. Измерения необходимы в военном деле, в быту, в спорте и во многих других видах деятельности человека. Они выполняются не только в разных земных условиях, но и в атмосфере, в космосе, на других планетах. Измерения позволяют управлять технологическими процессами, предприятиями, народным хозяйством в целом. Огромное значение имеют измерения в повышении ка-

чества продукции. Много измерительных приборов применяются в быту. Измерительная информация стала неотъемлемой спутницей человека. Можно с уверенностью сказать, что измерения сопровождают нас в течение всей жизни.

Принимая во внимание, что в машиностроении ежегодно выполняются десятки миллиардов измерений, что требования к качеству продукции непрерывно повышаются, следует рассматривать метрологическое обеспечение как один из крупных резервов повышения эффективности машиностроительного производства. Массовость и значимость измерений обусловили превращение метрологии в активный инструмент повышения качества работ и эффективности производства.

10.1. Основные термины и определения

Основные термины и определения даны в соответствии с РМГ 29-99. Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 17 мая 2000 г. № 139-ст межгосударственные Рекомендации РМГ 29-99 введены в действие непосредственно в качестве Рекомендаций по метрологии Российской Федерации с 1 января 2001 г. (взамен ГОСТ 16263-70).

Измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути, сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали).

С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Приведенное определение понятия «измерение» удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение в деле упорядочения системы понятий в метрологии. В нем учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины).

От термина «измерение» происходит термин «измерять», которым широко пользуются на практике. Все же нередко применяются такие термины, как «мерить», «обмерять», «замерять», «промерять», не вписывающиеся в систему метрологических терминов. Их применять не следует. Не следует также применять такие выражения, как «измерение значения» (на-

пример, мгновенного значения напряжения или среднего квадратического значения), так как значение величины – это уже результат измерений.

В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины), практикуется *оценивание* таких величин по условным шкалам.

Измерения, отнесенные к линейным, радиусным и угловым величинам, называют **техническими измерениями**.

Физическая величина – это одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Размер физической величины – это количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Значение физической величины – это выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Числовое значение физической величины – это отвлеченное число, входящее в значение величины.

Истинное значение физической величины – это значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину. Истинное значение физической величины может быть соотнесено с понятием абсолютной истины. Оно может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений.

Действительное значение физической величины – это значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Система физических величин – это совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

В названии системы величин применяют символы величин, принятых за основные. Так, система величин механики, в которой в качестве основных приняты длина L , масса M и время T , должна называться системой ЛМТ. Система основных величин, соответствующая Международной системе единиц (СИ), должна обозначаться символами ЛМТІΘN J , обозначающими соответственно символы основных величин: длины – L , массы – M , времени – T , силы электрического тока – I , температуры – Θ , количества вещества – N , силы света – J .

Основная физическая величина – это физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

Производная физическая величина – это физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы. Примеры производных величин механики системы LMT:

– скорость v поступательного движения, определяемая (по модулю) уравнением $v = dl / dt$, где l – путь, t – время;

– сила F , приложенная к материальной точке, определяемая (по модулю) уравнением $F = ma$, где m – масса точки, a – ускорение, вызванное действием силы F .

Размерность физической величины – это выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

Степени символов основных величин, входящих в одночлен, в зависимости от связи рассматриваемой физической величины с основными, могут быть целыми, дробными, положительными, отрицательными. Понятие размерности распространяется и на основные величины. Размерность основной величины в отношении самой себя равна единице, т.е. формула размерности основной величины совпадает с ее символом. В соответствии с международным стандартом ИСО 31/0, размерность величин следует обозначать знаком \dim . В системе величин LMT размерность величины x будет: $\dim x = L^l M^m T^t$, где L, M, T – символы величин, принятых за основные (соответственно длины, массы, времени).

Показатель размерности физической величины – это показатель степени, в которую возведена размерность основной физической величины, входящая в размерность производной физической величины. Показатели степени l, m, t называют показателями размерности производной физической величины x . Показатель размерности основной физической величины в отношении самой себя равен единице.

Размерная физическая величина – это физическая величина, в размерности которой хотя бы одна из основных физических величин возведена в степень, не равную нулю. Например, сила F в системе LMTIΘNJ является размерной величиной

$$\dim F = LMT^{-2}.$$

Безразмерная физическая величина – это физическая величина, в размерность которой основные физические величины входят в степени, равной нулю.

Аддитивная физическая величина – это физическая величина, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой

коэффициент, разделены друг на друга. К аддитивным величинам относятся длина, масса, сила, давление, скорость, время и др.

Неаддитивная физическая величина – это физическая величина, для которой суммирование, умножение на числовой коэффициент или деление друг на друга ее значений не имеет физического смысла. Например, термодинамическая температура.

Единица физической величины – это физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Система единиц физических величин – это совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин, например международная система единиц (СИ), принятая в 1960 г.

В зависимости от *метрологического назначения* измерения делятся на технические и метрологические. Данный классификационный признак не предусмотрен РМГ 29-99 и дается для общего обозрения.

Технические измерения проводятся рабочими СИ. Они являются наиболее массовым видом измерений. Например, измерение давления пара в котле при помощи манометра.

Метрологические измерения выполняются при помощи эталонов с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размера рабочим СИ.

ЗАДАНИЯ К РАЗДЕЛУ 10.1: Ответить на вопросы по своему варианту (номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки).

Номер варианта	Вопрос
1	1) Что называется измерением? 2) Какая физическая величина называется производной? Приведите пример.
2	1) Что такое физическая величина? 2) Что такое размерность физической величины?
3	1) Что такое размер физической величины? 2) Что такое показатель размерности физической величины?
4	1) Что такое значение физической величины? 2) Какая физическая величина называется размерной?
5	1) Что такое числовое значение физической величины? 2) Какая физическая величина называется безразмерной?
6	1) Что такое истинное значение физической величины? 2) Какая физическая величина называется аддитивной?
7	1) Что такое действительное значение физической величины? 2) Какая физическая величина называется неаддитивной?

Номер варианта	Вопрос
8	1) Что такое система физических величин? 2) Что такое единица физической величины?
9	1) Назовите системы физических величин. 2) Что такое система единиц физических величин?
0	1) Какая физическая величина называется основной? Приведите пример. 2) Когда была принята международная система единиц СИ?

10.2. Выбор измерительных средств

При выборе измерительных средств для контроля изделий учитывают совокупность метрологических (цена деления, погрешность измерения и др.), эксплуатационных и экономических показателей. К эксплуатационным и экономическим показателям относятся: повторяемость измеряемых размеров (массовость) и доступность их для контроля; стоимость и надежность измерительных средств; продолжительность работы (до ремонта); время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения; масса, габариты и рабочая нагрузка.

10.2.1. Выбор измерительных средств в зависимости от точности измерений

При выборе средств измерения точность средств измерений должна быть достаточно высокой по сравнению с заданной точностью выполнения измеряемого размера, а трудоемкость измерений и их стоимость должны быть, возможно, более низкими, обеспечивающими наиболее высокие производительность труда и экономичность.

Правильный выбор измерительных средств с учетом допускаемых погрешностей измерений размеров до 500 мм регламентирует ГОСТ 8.051-81. Стандарт предусматривает значения допускаемых погрешностей измерений в зависимости от допусков на обработку. Значения допускаемых погрешностей измерений приведены в табл. 10.1.

Пределы допускаемых погрешностей измерений установлены из расчета (в среднем) от 20 до 35 % значения допуска (с учетом квалитетов).

Погрешность измерительного средства должна быть меньше допускаемой погрешности измерения. Предельные погрешности различных СИ приведены в табл. 10.2 и 10.3.

Таблица 10.1

Допускаемые погрешности измерений (δ) в зависимости от допусков размеров

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																							
	5		6		7		8		9		10		11		12		13		14					
	Т	б	Т	б	Т	б	Т	б	Т	б	Т	б	Т	б	Т	б	Т	б	Т	б				
До 3	4	1,4	6	1,8	10	3	14	3	25	6	40	8	60	12	100	20	140	30	250	50				
Св. 3 до 6	5	1,6	8	2,0	12	3	18	4	30	8	48	10	75	16	120	30	180	40	300	60				
« 6 « 10	6	2,0	9	2,0	15	4	22	5	36	9	58	12	90	18	150	30	220	50	360	80				
« 10 « 18	8	2,8	11	3	18	5	27	7	43	10	70	14	110	30	180	40	270	60	430	90				
« 18 « 30	9	3	13	4	21	6	33	8	52	12	84	18	130	30	210	50	330	70	520	120				
« 30 « 50	11	4	16	5	25	7	39	10	62	16	100	20	160	40	250	50	390	80	620	140				
« 50 « 80	13	4	19	5	30	9	46	12	74	18	120	30	190	40	300	60	460	100	740	160				
« 80 « 120	15	5	22	6	35	10	54	12	87	20	140	30	220	50	350	70	540	120	870	180				
« 120 « 180	18	6	25	7	40	12	63	16	100	30	160	40	250	50	400	80	630	140	1000	200				
« 180 « 250	20	7	29	8	46	12	72	18	115	30	185	40	290	60	460	100	720	160	1150	240				
« 250 « 315	23	8	32	10	52	14	81	20	130	30	210	50	320	70	520	120	810	180	1300	260				
« 315 « 400	25	9	36	10	57	16	89	24	140	40	230	50	360	80	570	120	890	180	1400	280				
« 400 « 500	27	9	40	12	63	18	97	26	155	40	250	50	400	80	630	140	970	200	1550	320				
б / Т, %	35		30		30		25		25		20		20		20		20		20		20			

Таблица 10.2
Пределные погрешности измерения, мкм, наружных размеров универсальными измерительными средствами

Средства измерений	Класс мер	Ход стержня, мм	Номинальный размер, мм												
			1...6	6...10	10...18	18...50	50...80	80...120	120...180	180...260	260...360	360...500			
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,1 мм	-	-	150	150	150	150	200	200	200	200	200	200	200	200	250
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,05 мм	-	-	100												
Скобы индикаторные с ценой деления 0,01 мм	5	3	15		20		40		50		60				
Микрометры гладкие с ценой деления 0,01 мм	3	0,1	10												
Микрометры рычажные с ценой деления 0,002 и 0,01 мм	-	По установке новочной мере	5		10		15		20		25		30		50
Скобы рычажные с ценой деления 0,002 и 0,01 мм	-	То же	4	4	6	10	10	15	15	20	20	25	25	30	50
Скобы рычажные с ценой деления 0,002 и 0,005 мм	3	Вся шкала	4		5		10		20		25		-		-
	2	10 делений	2		3		5		-		-		-		-

Таблица 10.3
 Пределные погрешности измерения, мкм, внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами

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

Пример. Выбрать средство для измерения в условиях серийного производства диаметра элемента вала $\varnothing 50 h11$.

По табл. 10.1 находим допуск размера вала $T = 160$ мкм и допускаемую погрешность измерения $\delta = 40$ мкм.

По табл. 10.2 подбираем средство измерений наружных размеров. Здесь указаны предельные погрешности измерения различными средствами. Подбираем по этой таблице средство, имеющее диапазон измерения, включающий в себя номинальный диаметр 50 мм, и имеющее предельную погрешность измерения, близкую к 40 мкм, т.е. к допускаемой погрешности измерения рассматриваемой ступени вала. Лучше всех этим требованиям удовлетворяет скоба индикаторная с диапазоном измерения 0...50 мм, ценой деления 0,01 мм и предельной погрешностью измерения 15 мкм. Эта скоба подходит и по производительности измерения для условий серийного производства.

10.2.2. Выбор измерительных средств в зависимости от организационно-технических форм контроля

Детали в процессе их изготовления могут подвергаться сплошному 100%-му контролю и выборочному контролю.

Сплошному контролю подлежат детали и узлы по так называемым аварийным параметрам и таким, которые определяют эксплуатационные показатели машин или приборов в целом.

При стабильном технологическом процессе изготовления деталей и сборки узлов и изделий, когда появление брака маловероятно, целесообразно применять *выборочный контроль* деталей, узлов и изделий. Наиболее часто применяют статистический метод выборочного контроля. Этот метод применяется для приемки готовых изделий (приемочный контроль) и для управления точностью в процессе производства (управляющий контроль).

Сплошной и выборочный приемочный контроль относятся к *пассивным формам контроля*, при которых только регистрируются результаты измерения, а на ход технологического процесса эти измерения не влияют. При пассивных формах контроля используют универсальные измерительные приборы и инструменты.

Для повышения качества машин, сокращения потерь от брака и повышения производительности труда необходимо применять *активные формы контроля*, при которых результаты измерения используются для регулирования точности технологических процессов.

Рассмотрим систему централизованного статистического контроля (СЦСК – 1). Эта система предназначена для автоматического регулирования точности технологических процессов с целью недопущения появления брака и сокращения количества подналадок технологического процесса.

Эта система контроля позволяет также анализировать точность работы станков и технологической оснастки.

СЦСК – 1 состоит из ряда измерительных позиций, установленных на соответствующих станках, и управляющей счетной машины УСМ – 5, установленной на центральном контрольном пункте (рис. 10.1).

На измерительных позициях определяют отклонения действительных размеров от заданных. Эти отклонения затем первично преобразуются в соответствующие им числа электрических импульсов.

Счетная машина имеет два счетчика: счетчик-повторитель (СП), который производит вторичное преобразование отклонений в число импульсов, и счетчик-накопитель, суммирующий все импульсы при измерении всех деталей.

Накопленное число импульсов автоматически сравнивается с пределом, заданным для данной измерительной позиции и хранящимся в памяти счетной машины. Если число, накопленное на счетчике-накопителе, превысит это предельное число, то срабатывают специальная схема совпадения и реле исполнительного органа (ИО), контакты которого включают сигнализацию о браке; подается команда на прекращение обработки или на подналадку станка.

Связь счетной машины с соответствующими измерительными позициями осуществляется с помощью программного счетчика ПС – 1 по определенной программе.

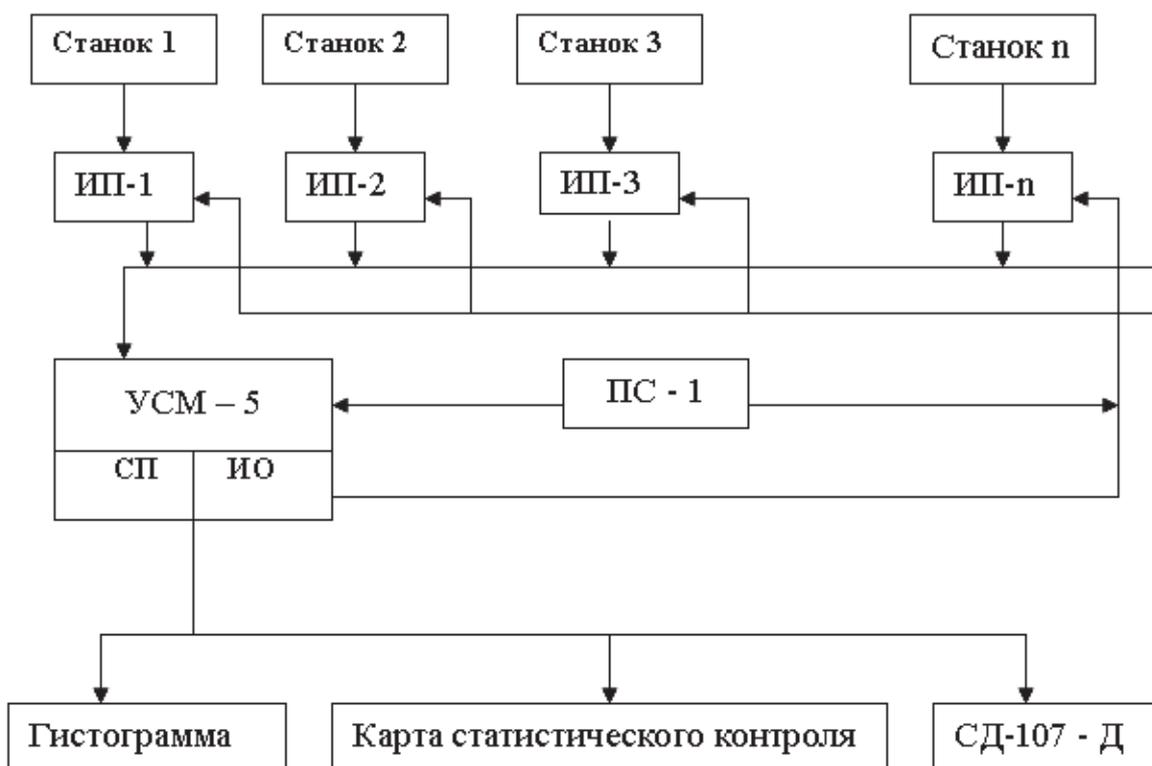


Рис. 10.1. Система централизованного статистического контроля

Система централизованного статистического контроля является универсальной системой, так как к ней могут быть подключены измерительные позиции, стоящие на любых станках. К счетной машине могут быть подключены построитель гистограммы, карты статистического контроля, а также суммирующая десятиклавишная машина с дистанционным управлением типа СД – 107 – Д.

10.2.3. Выбор измерительных средств в зависимости от масштабов производства

При индивидуальном и мелкосерийном производстве объекты производства часто меняются, высокое качество изделий не гарантируется ходом технологического процесса, а зависит от индивидуальных навыков и квалификации рабочего. Поэтому при индивидуальном и мелкосерийном производстве необходимы тщательный пооперационный контроль деталей, соответствующие универсальные измерительные средства и контролеры высокой квалификации.

При серийном производстве изготавливаются взаимозаменяемые детали, узлы и изделия, номенклатура которых не изменяется в течение длительного времени. Однородность деталей по качеству достигается применением специализированного оборудования, инструмента, оснастки. Работа ведется по отработанной пооперационной технологии. Поэтому пооперационный контроль не обязателен. Контроль осуществляется после ряда операций или после окончательного изготовления деталей универсальными измерительными средствами, специализированными контрольными приспособлениями, жесткими предельными калибрами и шаблонами.

При массовом производстве номенклатура изделий постоянна. Качество изделий обеспечивается отработанной технологией, широким применением специализированного оборудования, приспособлений и инструмента, а также контрольными операциями, которые являются составной частью единого технологического процесса. При массовом производстве широко применяются высокопроизводительные механизированные и автоматические контрольно-измерительные средства.

10.2.4. Выбор измерительных средств в зависимости от конструктивных особенностей контролируемой детали

Конструктивная форма, число контролируемых параметров, габариты и масса детали также влияют на выбор типа измерительного средства.

Детали больших габаритов и большой массы контролируются переносными измерительными средствами.

При большом количестве контролируемых параметров рекомендуется применять многомерные контрольно-измерительные устройства.

Автоматы особо эффективны при контроле деталей простой геометрической формы, небольшого веса, с небольшим числом контролируемых параметров.

При выборе средства измерения необходимо учитывать также материал контролируемой детали, жесткость ее конструкции и шероховатость поверхности.

Размеры тонкостенных деталей предпочтительно контролировать бесконтактным методом или на приборах с небольшим измерительным усилием.

ЗАДАНИЯ К РАЗДЕЛУ 10.2: Выбрать средство для измерения в условиях серийного производства следующего размера по своему варианту (номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки).

Номер варианта	Задание
1	Ø300h10
2	Ø118m6
3	Ø40k5
4	Ø28f7
5	Ø63z8
6	Ø60H7
7	Ø35F8
8	Ø87R6
9	Ø140D10
0	Ø20N9

10.3. Средства измерений линейных размеров

10.3.1. Меры длины концевые плоскопараллельные

Концевые меры длины – это однозначные меры, размер которых образован противоположными измерительными поверхностями. Наиболее распространены в машиностроении плоскопараллельные концевые меры длины (КМД). Особенность КМД заключается в том, что их измерительные поверхности имеют высокую плоскостность, параллельны между собой и обладают весьма малой шероховатостью. Эти свойства обеспечивают одинаковое для данной меры расстояние между измерительными поверхностями в любом месте. Конструкция всех КМД практически одинакова – это пластины с двумя противоположными плоскопараллельными измерительными поверхностями.

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

Концевые меры длины делятся на *рабочие и образцовые*.

Рабочие концевые меры длины предназначены для регулировки и настройки на размер показывающих измерительных приборов (рис. 10.2), для непосредственных измерений, а также для выполнения особо точных разметочных работ и наладки станков.

Рабочие КМД разделяются по классам точности. *Класс точности меры* показывает, какое отклонение имеет действительный размер данной меры от ее номинального размера. Классы точности концевых мер – это ряды допусков на изготовление их действительных размеров в зависимости от значений их номинальных размеров. Концевые меры длины выпускают по следующим классам точности: 0, 1, 2, 3.

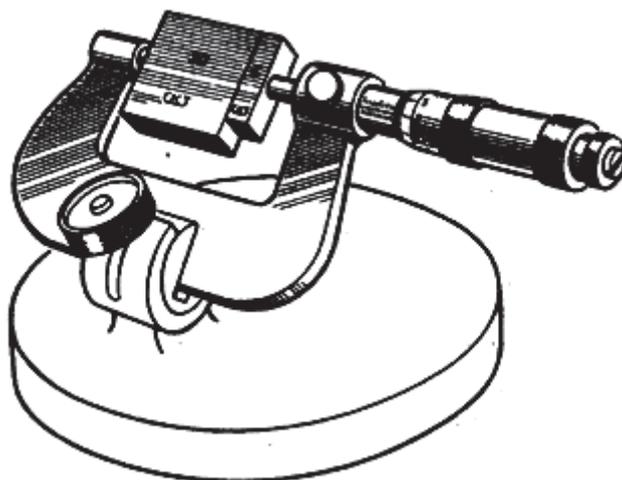


Рис. 10.2. Настройка гладкого микрометра блоком КМД

Кроме того, установлены дополнительные классы точности: 00, 01. Эти классы применяют по согласованию между потребителем и изготовителем.

Для мер, находящихся в эксплуатации, установлены также классы точности 4 и 5. Они присваиваются концевым мерам, значительно изношенным и изменившим размер.

Образцовые меры применяют для передачи размера единицы длины от первичного эталона концевым мерам меньшей точности и для поверки и градуировки измерительных приборов длины. Образцовые КМД делят по разрядам: 1, 2, 3, 4.

Разряд концевых мер длины показывает, с какой погрешностью измерения производится аттестация действительного размера длины концевой меры. Разряды – это ряды значений погрешностей измерения, допускаемых при аттестации КМД.

Притираемость измерительных поверхностей концевой меры – это способность измерительных поверхностей КМД сцепляться друг с другом при смещении в плотно прижатом состоянии. Такое сцепление (притира-

ние) КМД происходит благодаря высокой плоскостности и малой шероховатости их измерительных поверхностей и позволяет собирать из отдельных мер блоки КМД. Суммарный размер такого блока равен сумме размеров мер, вошедших в него. Блоки из КМД можно получить практически любого требуемого размера.

Инструментальные заводы выпускают КМД, скомплектованные в **наборы** и уложенные в отдельные футляры для того, чтобы из них можно было собирать блоки необходимых размеров. Особенность комплектовки всех наборов заключается в том, что в набор должны быть вложены меры одного класса точности. При поверке мер во время эксплуатации набору присваивается единый класс точности, равный низшему классу точности меры из числа вложенных в данный набор.

Примеры условного обозначения КМД:

- 1) Набор № 2 концевых мер длины из стали, класса точности 1:
Концевые меры 1 – Н2 ГОСТ 9038-90;
- 2) Набор № 3 концевых мер из твердого сплава, класса точности 2:
Концевые меры 2 – Н3 – Т ГОСТ 9038-90;
- 3) Концевая мера длиной 1,49 мм из стали, класса точности 3:
Концевая мера 3 – 1,49 ГОСТ 9038-90;
- 4) Комплект образцовых концевых мер длины 1-го разряда:
Концевые меры образцовые 1 – КО ГОСТ 9038-90;
- 5) Набор № 3 образцовых концевых мер 2-го разряда:
Концевые меры образцовые 2 – НОЗ ГОСТ 9038-90.

10.3.2. Штангенинструменты

Штангенинструментами называют средства измерений линейных размеров, основными частями которых являются штанга со шкалой и нониус – вспомогательная шкала для уточнения отсчета показаний.

Штангенциркули

Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних размеров изделий, некоторыми из них можно еще измерять глубину выемок и высоту уступов. Основные типы штангенциркулей предусмотрены ГОСТ 166-89 «Штангенциркули. Технические условия» и приведены в табл. 10.4. Конструкция основных типов штангенциркулей приведена на рис. 10.3.

Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,1 мм делятся на классы точности: 1 и 2.

Типы и характеристика штангенциркулей

Тип штангенциркуля	Пределы измерения, мм	Значение отсчета по нониусу, мм
ШЦ - I: двусторонние с глубиномером	0 – 125	0,1
ШЦТ - I: односторонние с глубиномером, с измерительными поверхностями из твердых сплавов	0 – 125	0,1
ШЦ - II: двусторонние	0 – 160	0,1; 0,05
ШЦ - III: односторонние	0 – 200; 0 – 250; 0 – 315; 0 – 400; 0 – 500; ... 800 – 2000	0,1; 0,05 0,1 0,1
ШЦК: с отсчетом по круговой шкале	0 – 125; 0 – 135; ... 0 – 300	0,02; 0,05; 0,1
ШЦЦ: с цифровым отсчетным устройством	0 – 125; ... 320 – 1000	0,01

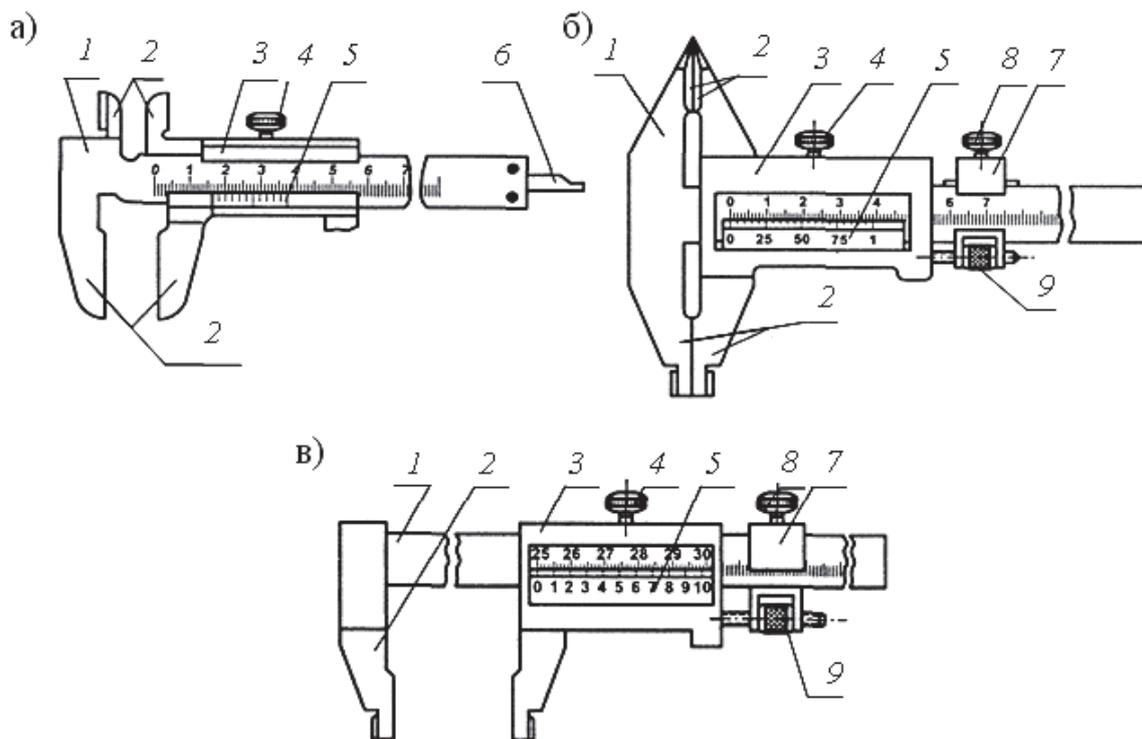


Рис. 10.3. Конструкция штангенциркулей:

а – тип ШЦ - I; б – тип ШЦ - II; в – тип ШЦ - III;

1 – штанга-линейка; 2 – измерительные губки; 3 – рамка;

4 – винт зажима рамки; 5 – нониус; 6 – линейка глубиномера;

7 – рамка микрометрической подачи; 8 – винт; 9 – гайка

Примеры условного обозначения штангенциркулей:

1) штангенциркуль ШЦ - II - 250 - 0,05 ГОСТ 166-89;

2) штангенциркуль ШЦ - II - 250 - 630 - 0,1 - 1 ГОСТ 166-89;

Тип II с диапазоном измерения 250 – 630 мм, значением отсчета по нониусу 0,1 мм, класс точности 1;

3) штангенциркуль ШЦК - I - 150 - 0,02 ГОСТ 166-89;

4) штангенциркуль ШЦЦ - I - 125 - 0,01 ГОСТ 166-89.

Штангенглубиномеры

Штангенглубиномеры (рис. 10.4) применяются для прямого измерения глубины выемок и высоты уступов. Штангенглубиномеры бывают нормальные (ШГ), с острием (2ШГ), с уступом (3ШГ). Отсчет по нониусу для всех штангенглубиномеров составляет 0,05 мм.

Примеры условного обозначения штангенглубиномеров:

1) ШГ – 200 ГОСТ 162-90;

2) 2ШГ – 160 ГОСТ 162-90;

3) 3ШГ – 160 – 400 ГОСТ 162-90.

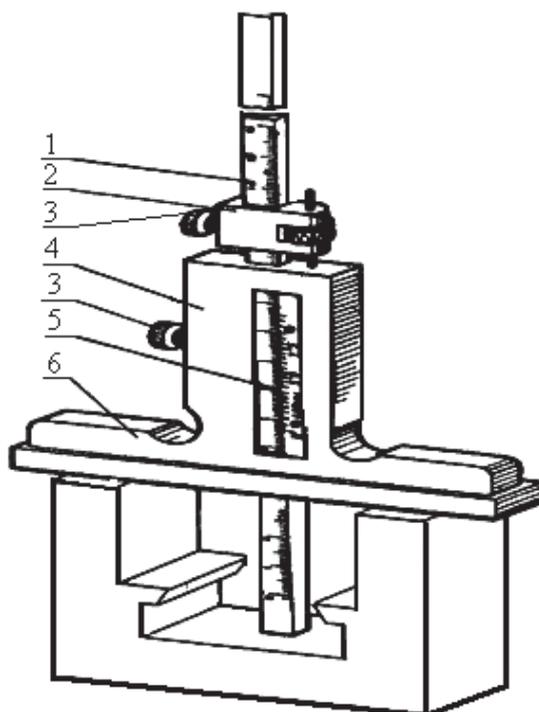


Рис. 10.4. Штангенглубиномер:
1 – штанга; 2 – микроподача; 3 – зажим;
4 – рамка; 5 – нониус; 6 – опора

Штангенрейсмасы

Штангенрейсмасы (рис. 10.5) применяются для пространственной разметки и прямых измерений на точной плите расстояний от базовых поверхностей до выемок, выступов и осей отверстий. Типы штангенрейсмасов:

ШР – с отсчетом по нониусу;

ШРК – с отсчетным устройством с круговой шкалой;

ШРЦ – с электронным цифровым отсчетным устройством.

Примеры условного обозначения штангенрейсмасов:

1) ШР – 250 – 0,05 ГОСТ 164-90;

2) ШРК – 250 – 0,02 ГОСТ 164-90;

3) ШРЦ – 250 – 0,01 ГОСТ 164-90.

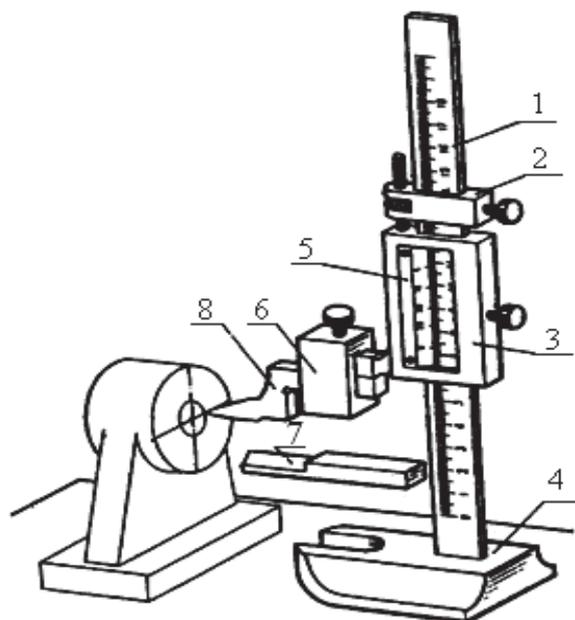


Рис. 10.5. Штангенрейсмас:

1 – штанга; 2 – микроподача; 3 – рамка; 4 – основание; 5 – нониус;
6 – державка; 7 – измерительная ножка; 8 – разметочная ножка

10.3.3. Микрометрические инструменты

Микрометрическими инструментами называют средства измерений линейных размеров, основанные на использовании винтовой пары, называемой микропарой.

Микрометры

Основные типы микрометров представлены в ГОСТ 6507-90 «Микрометры. Технические условия» и приведены в табл. 10.5. Конструкция микрометров приведена на рис. 10.6.

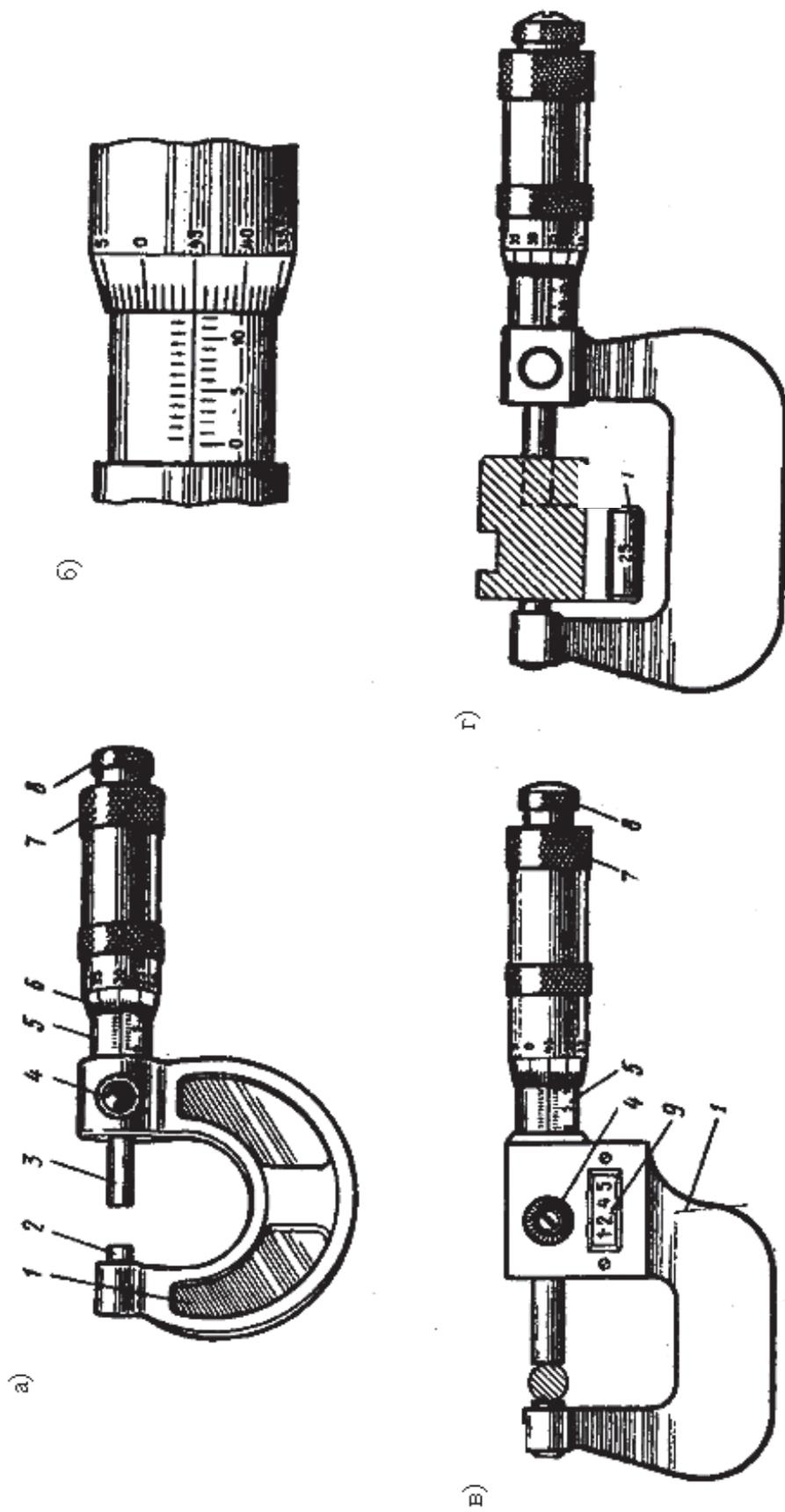


Рис. 10.6. Микрометры гладкие: а – с диапазоном измерения от 0 до 25 мм; б – показания микрометра 12,45 мм; в – микрометр с цифровой индикацией; г – микрометр с диапазоном измерения от 25 до 50 мм с установочной мерой; 1 – подковообразная скоба; 2 – пятка; 3 – микрометрический винт; 4 – стопор; 5 – стержень; 6 – барабан со скобой; 7 – корпус трещотки; 8 – трещотка; 9 – цифровое табло

Типы и характеристика микрометров

Тип микрометра	Диапазон измерения, мм
МК – микрометр гладкий	0 – 25; 25 – 50; 50 – 75; ... 275 – 300; 300 – 400; ... 500 – 600
МЛ – микрометр листовой	0 – 5; 0 – 10; 0 – 25
МТ – микрометр трубный	0 – 25
МЗ – микрометр зубомерный	0 – 25; 25 – 50; 50 – 75; 75 – 100
МП – микрометр для проволоки	0 – 10
МГ – микрометр настольный горизонтальный	0 – 20
МВ – микрометр настольный вертикальный	0 – 10

Для удобства и ускорения отсчета показаний промышленность выпускает гладкий микрометр с цифровой индикацией (рис. 10.6, в). Цена деления шкалы барабана – 0,01 мм. Микрометры выпускают классов точности 1 и 2.

Примеры условного обозначения микрометров:

- 1) МК 50 – 1 ГОСТ 6507-90. Микрометр гладкий с диапазоном измерений 25 – 50, 1 класса точности;
- 2) МК Ц 75 ГОСТ 6507-90. Микрометр гладкий с электронным цифровым отсчетным устройством, диапазон измерений 50 – 75 мм;
- 3) МЛ – 10 ГОСТ 6507-90.

Микрометрические глубиномеры

Микрометрические глубиномеры (рис. 10.7) применяются для измерения глубины выемок и высоты уступов в деталях машин.

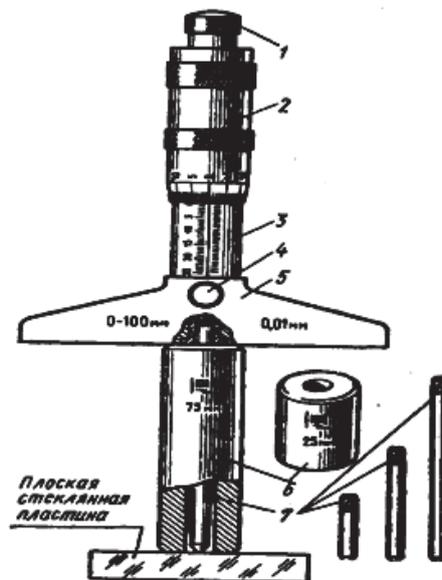


Рис. 10.7. Микрометрический глубиномер:

- 1 – трещотка; 2 – барабан со шкалой; 3 – стержень со шкалой;
- 4 – стопор; 5 – поперечина; 6 – установочные меры-втулки;
- 7 – сменные измерительные стержни

Пример условного обозначения микрометрического глубиномера:
ГМ – 100 ГОСТ 7470-92. Глубиномер микрометрический, диапазон измерений 0 – 100 мм.

Микрометрические нутромеры

Микрометрическими нутромерами (рис. 10.8) измеряют размеры отверстий, ширину пазов и другие внутренние линейные размеры и отклонения формы деталей машин. Максимальный размер, измеряемый микрометрической головкой с индикатором и удлинителем, – 10 000 мм.

Примеры условного обозначения микрометрических нутромеров:

- 1) НМ 75 ГОСТ 10-88;
- 2) НМИ 2500 – 4000 ГОСТ 10-88.

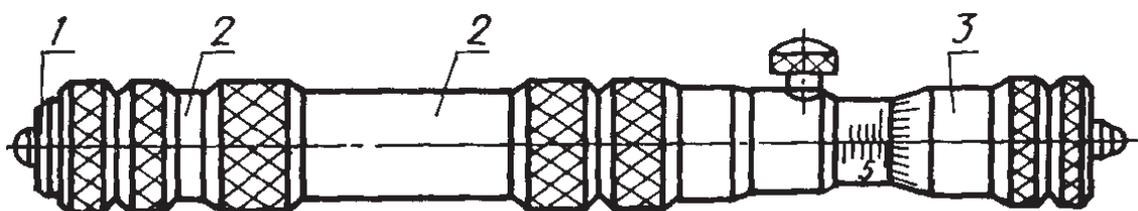


Рис. 10.8. Микрометрический нутромер:
1 – измерительный наконечник; 2 – удлинитель;
3 – микрометрическая головка

Микрометры рычажные

Типы рычажных микрометров установлены ГОСТ 4381-87: МР и МРИ. Рычажный микрометр (рис. 10.9) в отличие от гладкого не имеет трещотки для ограничения усилия измерения. Измерительное усилие ограничивает пружина, которая прижимает подвижную пятку к поверхности детали, а деталь к торцу микровинта.



Рис. 10.9. Микрометр рычажный
с встроенным отсчётным устройством

Условное обозначение рычажных микрометров:
МР 50 ГОСТ 4381-87;
МРИ 400-0,01 ГОСТ 4381-87.

10.3.4. Индикаторные инструменты

Индикаторные или рычажно-механические приборы предназначены для контроля линейных размеров и отклонений формы и расположения поверхностей. Используют эти приборы главным образом для относительных измерений.

Индикаторы часового типа

Из рычажно-механических приборов наиболее широко применяются индикаторы часового типа (ГОСТ 577-67) от 0 до 10 мм и малогабаритные от 0 до 2 мм.



Рис. 10.10. Индикатор часового типа

Индикаторами часового типа (рис. 10.10) оснащают ряд измерительных приборов общего и специального назначения. Интервалы измерений: от 0 до 5 мм.

Скобы с отсчетным устройством

Типы, основные параметры и технические требования к скобам установлены ГОСТ 11098-75: СР и СИ (скобы рычажные и скобы индикаторные). Рычажная скоба не имеет собственного размерного устройства, и измерение ею производится методом сравнения с мерой (рис. 10.11).

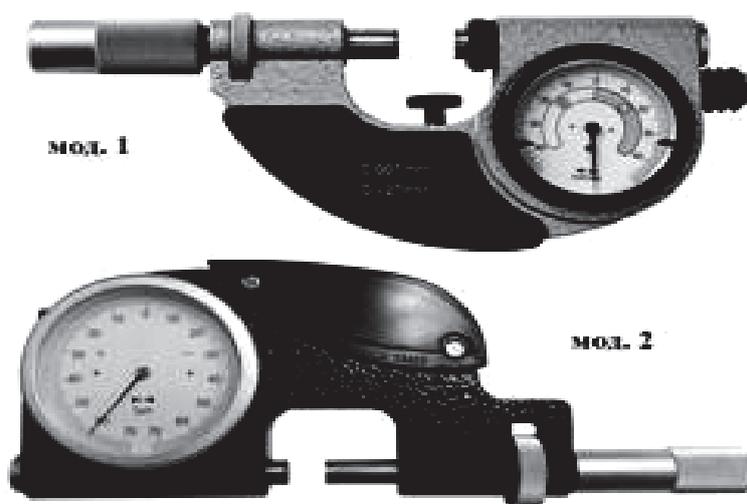


Рис. 10.11. Скоба рычажная

Индикаторные скобы (рис. 10.12) служат для измерения линейных размеров деталей цилиндрической формы в серийном производстве машин. Они удобны в применении, производительны, но обладают относительно невысокой точностью. Чаще всего ими измеряют гладкие валы после токарной обработки резцами или после круглой шлифовки, но при допусках на размер не менее 0,05 мм.

Условное обозначение скоб:

СР 50 ГОСТ 11098-75;

СИ 50 ГОСТ 11098-75.



Рис. 10.12. Скоба индикаторная

Нутромеры индикаторные

Технические условия на индикаторные нутромеры предусмотрены ГОСТ 868-82. Индикаторные нутромеры имеют цену деления 0,01 мм и делятся на два класса точности: 1 и 2. Вторым классом точности предусмотрен для диапазона измерения свыше 250 мм.

Условное обозначение индикаторного нутромера:

НИ 10 – 18 – 1 ГОСТ 868-82 (диапазон измерения 10 – 18 мм; 1 класс точности).

Глубиномеры индикаторные

Технические условия и условное обозначение глубиномеров индикаторных (рис. 10.13) предусмотрены ГОСТ 7661-67.

Пример условного обозначения глубиномера индикаторного:

ГИ – 100 ГОСТ 7661-67.



Рис. 10.13. Глубиномер индикаторный

Индикаторы многооборотные

Технические условия на многооборотные индикаторные головки (МИГ) предусмотрены ГОСТ 9696-82. Стандартом предусмотрено два типа головок: 1 и 2. Первый тип (рис. 10.14) имеет цену деления 0,001 мм, второй тип – 0,002 мм. МИГ делятся на классы точности: 0 и 1. Кроме того, предусмотрены индикаторы повышенной точности.

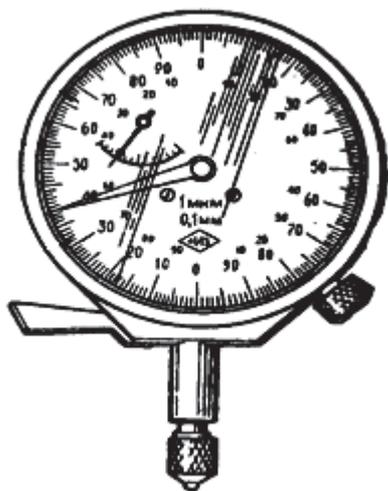


Рис. 10.14. Многооборотная измерительная головка

Примеры условного обозначения многооборотных индикаторных головок:

1 МИГ – 1 ГОСТ 9696-82 (тип 1, класс точности 1);

1 МИГ П ГОСТ 9696-82 (тип 1, повышенной точности).

1 МИГ П ГОСТ 9696-82 (тип 1, повышенной точности).

Нутромеры с ценой деления 0,001 и 0,002 мм

Технические условия на нутромеры предусмотрены ГОСТ 9244-75. Цена деления шкалы 0,001 мм предусмотрена для нутромеров с диапазоном измерения от 2 до 10 мм, а цена деления 0,002 мм для нутромеров с диапазоном от 10 до 260 мм.

Примеры условного обозначения нутромеров:

Нутромер 6 – 10 ГОСТ 9244-75;

Нутромер 10 – 18 ГОСТ 9244-75.

ЗАДАНИЯ К РАЗДЕЛУ 10.3: Дать характеристику, назначение и привести пример обозначения универсального измерительного средства по своему варианту (номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки).

Номер варианта	Универсальное средство измерения
1	1) Нутромер с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. 2) Микрометрический глубиномер.
2	1) Индикаторы многооборотные. 2) Микрометр гладкий.
3	1) Глубиномер индикаторный. 2) Штангенрейсмас.
4	1) Нутромер индикаторный. 2) Штангенглубиномер.
5	1) Скоба рычажная. 2) Штангенциркуль I типа.
6	1) Скоба индикаторная. 2) Штангенциркуль II типа.
7	1) Индикатор часового типа. 2) Штангенциркуль III типа.

Номер варианта	Универсальное средство измерения
8	1) Микрометр рычажный. 2) Образцовые концевые меры длины.
9	1) Микрометрический нутромер. 2) Рабочие концевые меры длины.
0	1) Штангенциркуль с цифровым отсчетным устройством. 2) Микрометр листовой.

10.4. Специальные измерительные средства (калибры гладкие)

10.4.1. Классификация калибров

Калибром по ГОСТ 27284-87 называется техническое средство контроля, воспроизводящее геометрические параметры элементов изделия, определяемые заданными предельными линейными или угловыми размерами, и контактирующее с элементом изделия по поверхностям, линиям или точкам.

Калибры бывают *нормальные* и *предельные*.

Нормальный калибр – это калибр, воспроизводящий заданный линейный или угловой размер и форму сопрягаемой с ним поверхности контролируемого элемента изделия. О годности деталей судят по равномерности зазора между проверяемым профилем и рабочим профилем нормального калибра.

Предельный калибр – это калибр, воспроизводящий проходной и (или) непроходной пределы геометрических параметров элементов изделия. Предельные калибры предназначены для контроля деталей с точностью от *IT6* по *IT17* и позволяют установить, находится ли проверяемый размер в пределах допуска.

Предельные калибры для отверстий и валов подразделяют на проходной калибр (ПР), контролирующий предел максимума материала, и непроходной (НЕ), контролирующий предел минимума материала.

По назначению калибры подразделяются следующим образом:

– **рабочие калибры** (Р-ПР, Р-НЕ) пробки и скобы, применяемые для контроля деталей при их изготовлении;

– **контрольные калибры** (контркалибры), предназначенные для контроля размеров рабочих калибров-скоб проходных (К-ПР) и непроходных (К-НЕ) в процессе их изготовления, а также для контроля износа (К-И) проходных рабочих калибров-скоб при их эксплуатации (они являются непроходными).

Для контроля гладких цилиндрических отверстий предназначены калибры-пробки (рис. 10.15), для валов – калибры-скобы (рис. 10.16), состоящие из проходной (ПР) и непроходной (НЕ) сторон.

Деталь считают годной, если проходной калибр под действием собственной массы проходит, а непроходной калибр не проходит по контролируемой поверхности детали.

Для контроля отверстий номинальных размеров свыше 100 мм изготавливают неполные калибры-пробки (рис. 10.15, б). Чаще всего полные пробки делают двусторонними (рис. 10.15, а), а неполные – односторонними (см. рис. 10.15, б).

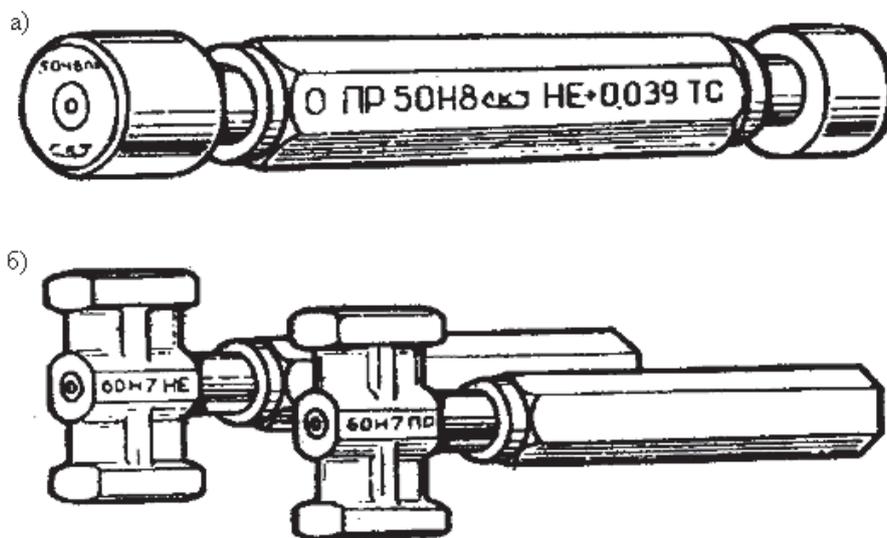


Рис. 10.15. Калибры-пробки гладкие:
а – полные; б – неполные

Если проходной калибр не проходит, брак детали является исправимым, если непроходной калибр проходит – брак неисправим.

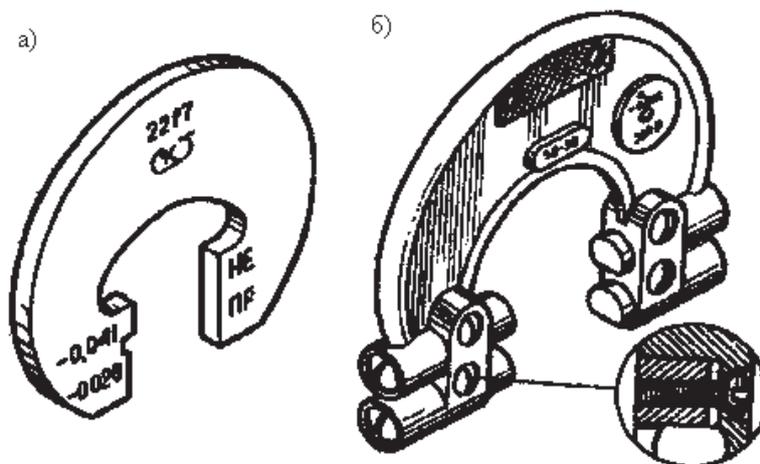


Рис. 10.16. Калибры-скобы гладкие:
а – листовые; б – регулируемые

Калибры-скобы бывают жесткие листовые и регулируемые. На инструментальных заводах чаще всего изготавливают регулируемые скобы с литым или штампованным корпусом, со вставками, переставляемыми на разные номинальные размеры по блокам КМД.

10.4.2. Допуски гладких предельных калибров

Номинальным размером проходной пробки является минимальный предельный размер контролируемого отверстия (D_{\min}), **проходной скобы** – максимальный предельный размер контролируемого вала (d_{\max}).

Номинальным размером непроходной пробки является максимальный размер контролируемого отверстия (D_{\max}), **непроходной скобы** – минимальный размер вала (d_{\min}).

Предельные отклонения калибров отсчитываются от соответствующих номинальных размеров, т.е. от предельных размеров контролируемых деталей. Для проходных калибров, износ которых вызывает искажение характера посадки, устанавливается также граница допустимого износа.

При назначении предельных отклонений калибров для отверстий и валов с размерами свыше 180 мм учитывается компенсация погрешностей контроля, вызываемых упругими деформациями калибров и деталей.

На схемах полей допусков (рис. 10.17 и 10.18) и в формулах для определения размеров калибров приняты следующие обозначения:

D_{\max} , D_{\min} – предельные размеры отверстия;

d_{\max} , d_{\min} – предельные размеры вала;

H – допуск на изготовление калибра-пробки;

H_1 – допуск на изготовление калибра-скобы;

H_p – допуск контрольных калибров для скоб;

H_s – допуск калибров со сферическими измерительными поверхностями;

Z – отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра-пробки относительно D_{\min} ;

Z_1 – отклонение середины поля допуска на изготовление проходного калибра-скобы относительно d_{\max} ;

Y – допустимый выход изношенного проходного калибра-пробки за границу поля допуска отверстия, начиная с ИТ9 $Y = 0$;

Y_1 – допустимый выход изношенного калибра-скобы за границу поля допуска вала, начиная с ИТ9 $Y_1 = 0$;

α и α_1 – величина для компенсации погрешности контроля калибрами соответственно отверстий и валов с размерами свыше 180 мм.

Формулы для расчета предельных размеров рабочих и контрольных калибров приведены ниже.

Рабочие калибры-пробки:

$$(P-PP)_{\max} = D_{\min} + Z + H/2;$$

$$(P-PP)_{\min} = D_{\min} + Z - H/2;$$

$$(P-PP)_{\text{изн}} = D_{\min} - Y (+ \alpha) - (\text{для размеров больше 180 мм});$$

$$(P-HE)_{\max} = D_{\max} + H/2 (- \alpha) - (\text{для размеров больше 180 мм});$$

$$(P-HE)_{\min} = D_{\max} - H/2 (- \alpha) - (\text{для размеров больше 180 мм}).$$

Рабочие калибры-скобы:

$$(P-PP)_{\max} = d_{\max} - Z_1 + H_1/2;$$

$$(P-PP)_{\min} = d_{\max} - Z_1 - H_1/2;$$

$$(P-PP)_{\text{изн}} = d_{\max} + Y_1 (- \alpha_1) - (\text{для размеров больше 180 мм});$$

$$(P-HE)_{\max} = d_{\min} + H_1/2 (+ \alpha_1) - (\text{для размеров больше 180 мм});$$

$$(P-HE)_{\min} = d_{\min} - H_1/2 (+ \alpha_1) - (\text{для размеров больше 180 мм}).$$

Контрольные калибры:

$$(K-PP)_{\max} = d_{\max} - Z_1 + H_p/2;$$

$$(K-PP)_{\min} = d_{\max} - Z_1 - H_p/2;$$

$$(K-HE)_{\max} = d_{\min} + H_p/2 (+ \alpha_1) - (\text{для размеров больше 180 мм});$$

$$(K-HE)_{\min} = d_{\min} - H_p/2 (+ \alpha_1) - (\text{для размеров больше 180 мм});$$

$$(K-И)_{\max} = d_{\max} + Y_1 + H_p/2 (- \alpha_1) - (\text{для размеров больше 180 мм});$$

$$(K-И)_{\min} = d_{\max} + Y_1 - H_p/2 (- \alpha_1) - (\text{для размеров больше 180 мм}).$$

В приведённых формулах значения α и α_1 нужно прибавить или отнять, т.е. просто убрать скобки.

При размерах до 180 мм (см. рис. 10.17) для проходных калибров, контролирующих отверстия и валы 6, 7 и 8 квалитетов, допускается выход размера изношенного калибра за поле допуска изделия на величину соответственно Y или Y_1 . Для изделий от 9 до 18 квалитетов граница износа проходных калибров совпадает с пределом максимума материала изделия ($Y = Y_1 = 0$).

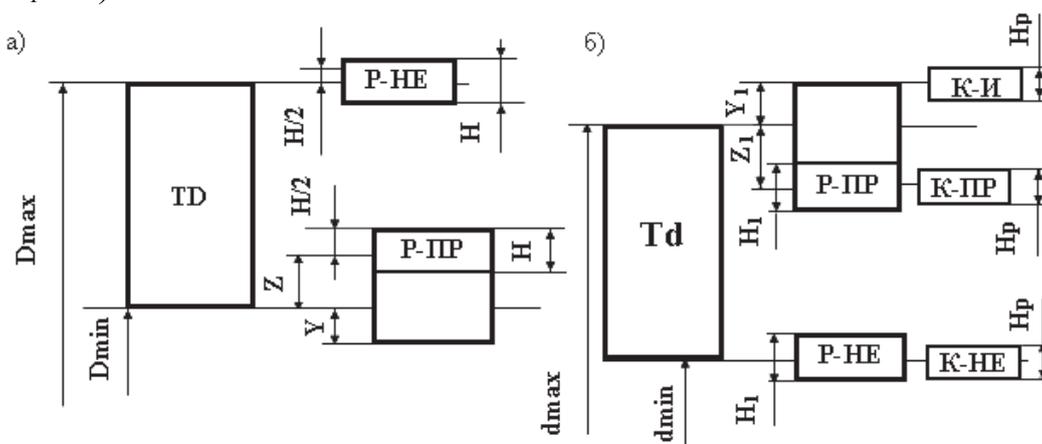


Рис. 10.17. Схема расположения полей допусков предельных калибров для отверстий и валов при размерах до 180 мм:
а – для калибра-пробки; б – для калибра-скобы

При размерах свыше 180 мм (см. рис. 10.18) поле допуска непроходного калибра и граница износа проходного калибра смещаются внутрь поля допуска изделия на величину, учитывающую погрешность контроля калибрами (α и α_1).

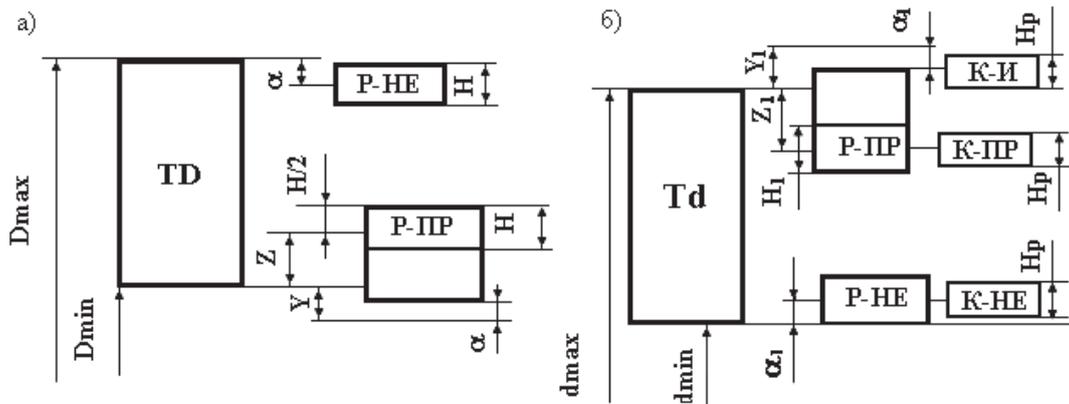


Рис. 10.18. Схема расположения полей допусков предельных калибров для отверстий и валов при размерах более 180 мм:
а – для калибра-пробки; б – для калибра-скобы

10.4.3. Маркировка калибров

При маркировке на калибр наносятся номинальный размер с буквенным обозначением поля допуска контролируемой детали, цифровые значения предельных отклонений детали в миллиметрах, тип калибра (например: ПР, HE, К И) и товарный знак завода изготовителя (рис. 10.19).

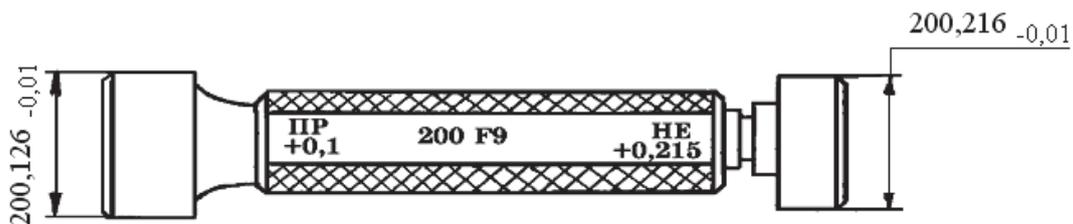


Рис. 10.19. Маркировка калибра-пробки

Размер калибра, проставленный на его чертеже, называется исполнительным. В качестве исполнительного размера калибра-пробки принимается её наибольший предельный размер с отрицательным нижним отклонением, равным допуску на изготовление, а скобы – её наименьший предельный размер с положительным верхним отклонением, равным допуску на изготовление.

Числовые значения допусков и отклонений калибров выбираются по табл. 10.6 в зависимости от качества и номинального размера контролируемого изделия.

Таблица 10.6

Допуски (мкм) гладких рабочих калибров для отверстий и валов
с размерами до 500 мм (ГОСТ 24853-81)

Квалитет	Обозначения	Интервалы размеров, мм												
		До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	5	6	7	8
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	4	5	6	7
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	5
	Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11
	Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	5	6	6	7
	H, H _p	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
	H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
7	Z, Z ₁	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11
	Y, Y ₁	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	6	7	8	9
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	6	7
	H, H ₁	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H _p	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
	Z, Z ₁	2	3	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	18
8	Y, Y ₁	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	9	10	11
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	9
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H _p	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
	Z, Z ₁	5	6	7	8	9	11	13	15	18	21	24	28	32
	9	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	9
H		2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
H ₁		3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
H _p		-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
Z, Z ₁		5	6	7	8	9	11	13	15	18	24	27	32	37
10		α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	11	14
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H ₁	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H _p	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
	Z, Z ₁	10	12	14	16	19	22	25	28	32	40	45	50	55
	11	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15	15	20
H, H ₁		4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
H _p		-	-	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20

Продолжение табл. 10.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12	Z, Z ₁	10	12	14	16	19	22	25	28	32	45	50	65	70
	α, α ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	20	30	35
	H, H ₁	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
	H _p	-	-	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
13	Z, Z ₁	20	24	28	32	36	42	48	54	60	80	90	100	110
	α, α ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	35	45	50
	H, H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	H _p	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
14	Z, Z ₁	20	24	28	32	36	42	48	54	60	100	110	125	145
	α, α ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	55	70	90
	H, H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	60
	H _p	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
15	Z, Z ₁	40	48	56	64	72	80	90	100	110	170	190	210	240
	α, α ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	90	110	140
	H, H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	H _p	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
16 и 17	Z, Z ₁	40	48	56	64	72	80	90	100	110	210	240	280	320
	α, α ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	140	180	220
	H, H ₁	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	H _p	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40

Примечание. Для 9 – 17 квалитетов значения Y и Y₁ равны нулю, поэтому они в таблице не приведены

ЗАДАНИЯ К РАЗДЕЛУ 10.4: Определить предельные и исполнительные размеры калибров-пробок и калибров-скоб для контроля отверстий и валов, построить схемы полей допусков, выполнить эскизы калибра-пробки и калибра-скобы с простановкой исполнительных размеров и маркировки (номер варианта соответствует последней цифре номера зачетной книжки).

Номер варианта	Размер отверстия	Размер вала
1	Ø35 H7	Ø210 d11
2	Ø120 K7	Ø300 f9
3	Ø80 F7	Ø190 h10
4	Ø200 N7	Ø40 b12
5	Ø220 F8	Ø85 d9
6	Ø40 J _s 7	Ø185 h11
7	Ø55 H8	Ø190 b12
8	Ø75 R7	Ø360 h9
9	Ø240 A11	Ø80 f7
0	Ø60 D10	Ø240 r6

10.5. Координатные измерительные машины

Координатными измерительными машинами (КИМ) называют автоматические средства для определения линейных и угловых размеров, а также отклонений формы и расположения поверхностей и осей сложных корпусных деталей.

КИМ позволяет осуществлять перечисленные виды измерений в двух, трех и четырех координатах: X и Y (рис. 10.20, а); X , Y , Z (рис. 10.20, б); X , Y , Z плюс поворот на угол φ в плоскости XOY (рис. 10.20, в).

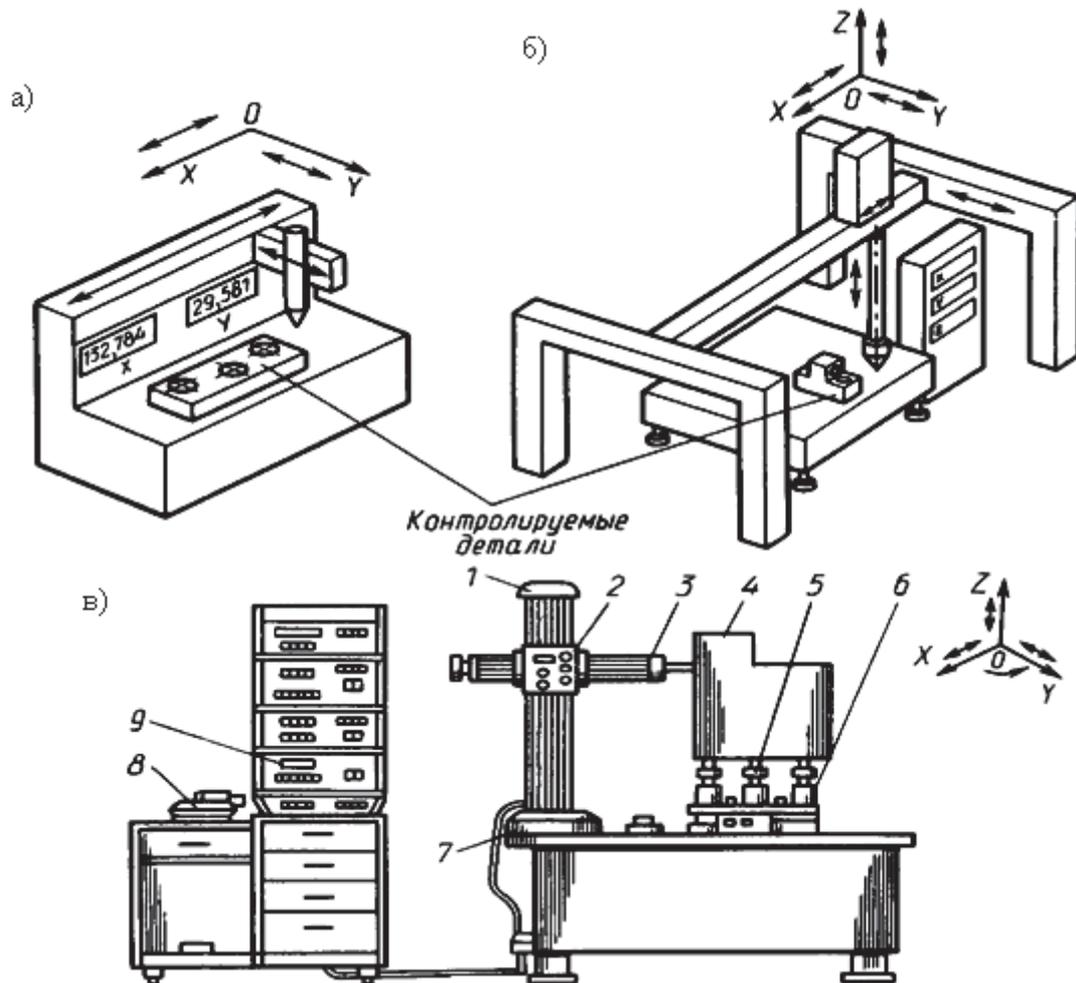


Рис. 10.20. Координатные измерительные машины для измерения в двух (а), трёх (б) и четырёх (в) координатах:

1 – направляющие колонки; 2 – каретка; 3 – штанга;
4 – измеряемая деталь; 5 – домкрат; 6 – стол; 7 – направляющие основания; 8 – принтер; 9 – цифровое отчётное устройство ЭВМ

Работают машины в двух режимах: либо осуществляется перемещение измерительного наконечника до контакта с измеряемой поверхностью, и с помощью отсчетных устройств определяется ее положение в системе

координат, либо измерительный наконечник по заданной программе перемещается в точки, соответствующие номинальным значениям определяемых размеров, а отсчетные устройства позволяют оценить отклонения положения действительных поверхностей от номинального значения. Чаще КИМ работают в первом режиме.

Основными узлами машин являются направляющие, по которым перемещается измерительная каретка с наконечником, отсчетные и счетно-решающие системы. Для уменьшения погрешности измерения КИМ снабжены либо направляющими качения, либо аэростатическими (на воздушной подушке) направляющими. Аэростатические направляющие высокоточных машин иногда изготавливают из твердых каменных пород, не подверженных (в отличие от металлических) температурным деформациям.

В качестве отсчетных устройств в КИМ используют специальные устройства – индуктосины. Они представляют собой электрическую машину со статором, развернутым в виде линейки, на поверхность которой печатным способом нанесены обмотки. Для этих же целей могут применяться и растровые фотоэлектрические преобразователи.

Современные КИМ оснащены ЭВМ, осуществляющими обработку результатов измерений, пересчет полученных значений размеров в зависимости от положения произвольно расположенной на столе машины контролируемой детали, печатание результатов измерений с указанием действительных значений измеренных параметров или их отклонений от заданных и их цифровую индикацию на специальных табло. Кроме того, ЭВМ руководит перемещениями каретки с измерительным наконечником, обеспечивая его последовательное автоматическое касание всех поверхностей, подлежащих контролю.

Раньше эта операция осуществлялась в соответствии с предварительно составленной программой (для каждого типоразмера деталей), введенной в ЭВМ. Существенным недостатком такого метода является необходимость затрачивать время на написание программы, ее запись на программноноситель и отладку, что требует привлечения к процессам измерения программистов.

Современные конструкции машин позволяют оператору без программы быстро «обучить» машину выполнять измерения интересующих параметров конкретной детали. Для этого надо вручную переместить каретку с измерительным наконечником, касаясь этим наконечником поверхностей, подлежащих контролю. Машина запоминает эти движения и сама записывает их в виде управляющей программы, которую потом использует для измерения аналогичных деталей. При необходимости эта программа заносится в память машины и может быть использована в любое время. КИМ находят также широкое применение при разметке корпусных деталей.

Координатная измерительная машина ВЕ-111 (рис. 10.20, в) позволяет проводить измерения и разметку по четырем координатам. Измеряемую деталь 4 устанавливают на самоустанавливающихся домкратах 5 стола 6, осуществляющего поворот детали вокруг вертикальной оси. Устройство 3 измерительным наконечником или разметочной головкой перемещается по осям X и Z с помощью каретки 2, которая поднимается и опускается по направляющим колонки 1. На каретке имеются направляющие, обеспечивающие перемещение штанги с устройством 3 в горизонтальном направлении по оси Y. Для измерений по оси X вся колонка перемещается по направляющим основания 7. Перемещение каретки 2 по оси Z осуществляется вручную, а по осям X и Y – с помощью электродвигателя.

Результаты измерений по четырем координатам считывают с цифрового отсчетного устройства 9 ЭВМ или печатаются на бумажной ленте принтера 8. Данная машина обеспечивает возможность измерения и разметки деталей размером до 750 × 460 × 630 мм.

Существующие модели координатных измерительных машин позволяют измерять и размечать детали размерами от 400...500 мм до 10...16 м. Наибольшее распространение получили машины для измерения деталей размером не более 500...1000 мм.

11. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Виды размеров, понятие точности.
- 2) Понятие посадки, допуска посадки, допуска размеров.
- 3) Основные отклонения полей допусков, их характеристики.
- 4) Качество: характеристика, назначение, примеры.
- 5) Характеристика посадки в системе отверстия. Схема полей допусков.
- 6) Характеристика посадки в системе вала. Схема полей допусков.
- 7) Подшипники качения: классы точности, поля допусков.
- 8) Условия назначения посадок подшипников качения. Виды нагружения колец подшипников качения.
- 9) Допуски и посадки шпоночных соединений.
- 10) Шпоночные соединения: схема полей допусков на три вида соединений.
- 11) Шлицевые соединения: способы центрирования, допуски и посадки.
- 12) Шероховатость поверхности: нормируемые параметры.
- 13) Шероховатость поверхности: обозначение на чертежах.
- 14) Методы измерения шероховатости поверхности.
- 15) Отклонения и допуски формы: отклонения формы цилиндрических поверхностей.
- 16) Отклонения формы плоских поверхностей.
- 17) Отклонения расположения поверхностей.

- 18) Обозначение на чертежах допусков формы и расположения поверхностей деталей.
- 19) Допуски и посадки резьбовых соединений.
- 20) Допуски зубчатых передач.
- 21) Размерные цепи: термины, определения и обозначения.
- 22) Методы решения размерных цепей: метод «максимума-минимума» – первая задача.
- 23) Методы решения размерных цепей: способ равных допусков.
- 24) Методы решения размерных цепей: способ допусков одного качества.
- 25) Выбор измерительных средств.
- 26) Условное обозначение универсальных средств измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество машиностроительной продукции во многом определяется техническим уровнем средств измерений и профессиональной подготовкой работников служб технического контроля. Одна из основных задач, стоящих сегодня перед ними, – предупреждение брака. Поэтому они должны знать не только основы метрологии и технику измерений, но и хорошо ориентироваться в тонкостях механической обработки, слесарного дела, сборочных процессов, испытаний машин, чтобы вовремя выяснить причину возможного появления брака и дать необходимые рекомендации по его предупреждению.

В подтверждение вышесказанного можно привести слова академика А. П. Александрова: «Метрология является важнейшей стороной сложного процесса усовершенствования технологии и качества продукции. В то же время именно метрология необходима для обнаружения областей несогласованности в научных исследованиях и потому обнаруживает те области, в которых можно ждать принципиальных сдвигов в науке...

Только страна, имеющая передовое приборостроение и метрологию, может быть передовой в науке».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анухин, В. И. Допуски и посадки : учеб. пособие для вузов / В. И. Анухин. – СПб. : Питер, 2004. – 207 с.
2. Белкин, И. М. Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости) : учеб. пособие для студентов машиностроительных специальностей высших технических заведений / И. М. Белкин. – М. : Машиностроение, 1992. – 528 с.

3. Берков, В. И. Технические измерения (альбом) : учеб. пособие / В. И. Берков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1983. – 144 с.
4. Ганевский, Г. М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении : учеб. для нач. проф. образования / Г. М. Ганевский, И. И. Гольдин. – 2-е изд., стереотип. – М. : ИРПО ; Издательский центр «Академия», 1999. – 288 с.
5. Гжиров, Р. И. Краткий справочник конструктора / Р. И. Гжиров. – Л. : Машиностроение, 1983. – 464 с.
6. Димов, Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. для вузов / Ю. В. Димов. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2010. – 464 с.
7. Допуски и посадки : справочник / под ред. В. Д. Мягкова. – 6-е изд., перераб. – Л. : Машиностроение, 1983. – Ч. 1-2.
8. Марков, Н. Н. Нормирование точности в машиностроении : учеб. для машиностроительных специальностей вузов / Н. Н. Марков, В. В. Осипов, М. Б. Шабалина ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Высш. шк. ; Издательский центр «Академия», 2001. – 335 с.
9. Никифоров, А. Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов / А. Д. Никифоров. – М. : Высш. шк., 2000. – 510 с.
10. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений : учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. – М. : Высш. шк., 2001. – 205 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО
РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ПОДШИПНИКИ
ШАРИКОВЫЕ И РОЛИКОВЫЕ РАДИАЛЬНЫЕ И ШАРИКОВЫЕ
РАДИАЛЬНО-УПОРНЫЕ. КОЛЬЦА ВНУТРЕННИЕ**

Номиналь- ный диаметр отверстия d, мм	Отверстие						Ширина кольца B	Непостоянст- во ширины кольца U _p	Радиальное биеение до- рожки каче- ния R _i	
	цилиндрическое			коническое (конусность 1 : 12) $\Delta d_k - \Delta d$						
	d _m		d*							
	Отклонения, мкм									
Верх- нее	Ниж- нее	Верхнее	Нижнее	Нижнее	Верх- нее	Верх- нее	Ниж- нее	Не более		
Класс точности L0										
От 0,6 до 2,5	0	-8	+1	-9	0	-	0	-40	12	10
Св. 2,5 >> 10	0	-8	+2	-10	0	+15	0	-120	15	10
>> 10 >> 18	0	-8	+3	-11	0	+18	0	-120	20	10
>> 18 >> 30	0	-10	+3	-13	0	+21	0	-120	20	13
>> 30 >> 50	0	-12	+3	-15	0	+25	0	-120	20	15
>> 50 >> 80	0	-15	+4	-19	0	+30	0	-150	25	20
>> 80 >> 120	0	-20	+5	-25	0	+35	0	-200	25	25
>> 120 >> 180	0	-25	+6	-31	0	+40	0	-150	30	30
>> 180 >> 250	0	-30	+8	-38	0	+46	0	-300	30	40
Класс точности L6										
От 0,6 до 2,5	0	-7	+1	-8	-	-	0	-40	12	5
Св. 2,5 >> 10	0	-7	+1	-8	0	+9	0	-120	15	6
>> 10 >> 18	0	-7	+1	-8	0	+11	0	-120	20	7
>> 18 >> 30	0	-8	+1	-9	0	+13	0	-120	20	8
>> 30 >> 50	0	-10	+1	-11	0	+16	0	-120	20	10
>> 50 >> 80	0	-12	+2	-14	0	+19	0	-150	25	10
>> 80 >> 120	0	-15	+3	-18	0	+22	0	-200	25	13
>> 120 >> 180	0	-18	+3	-21	0	+25	0	-250	30	18
>> 180 >> 250	0	-22	+4	-26	0	+29	0	-300	30	20

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
ТОЧНОСТЬ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ.
ПОДШИПНИКИ ШАРИКОВЫЕ И РОЛИКОВЫЕ РАДИАЛЬНЫЕ И ШАРИКОВЫЕ
РАДИАЛЬНО-УПОРНЫЕ. КОЛЬЦА НАРУЖНЫЕ

Номинальный наружный диаметр D, мм	Допускаемые отклонения, мкм															
	D _m						D _m и D _s									
	наружного диаметра кольца															
	Классы точности															
	0		6		0		6		5, 4, 2		5		4		2	
	верхние	нижние	верхние	нижние	верхние	нижние	верхние	нижние	верхние	нижние	верхние	нижние	верхние	нижние	верхние	нижние
От 2,5 до 6	0	-8	-7	-9	+1	-8	+1	-8	0	-4	-5	-4	0	-4	-2,5	-8
Св. 6 >> 18	0	-8	-7	-10	+2	-8	+1	-8	0	-4	-5	-4	0	-4	-2,5	-8
>> 18 >> 30	0	-9	-8	-11	+2	-9	+1	-9	0	-5	-6	-4	0	-5	-4	-8
>> 30 >> 50	0	-11	-9	-14	+3	-11	+2	-11	0	-6	-7	-4	0	-6	-4	-8
>> 50 >> 80	0	-13	-11	-17	+4	-13	+2	-13	0	-7	-9	-4	0	-7	-4	-8
>> 80 >> 120	0	-15	-13	-20	+5	-15	+2	-15	0	-8	-10	-5	0	-8	-5	-8
>> 120 >> 150	0	-18	-15	-24	+6	-18	+3	-18	0	-9	-11	-5	0	-9	-5	-8
>> 150 >> 180	0	-25	-18	-32	+7	-25	+3	-21	0	-10	-13	-7	0	-10	-7	-8
>> 180 >> 250	0	-30	-20	-38	+8	-30	+4	-24	0	-11	-15	-8	0	-11	-8	-8
>> 250 >> 315	0	-35	-25	-44	+9	-35	+4	-29	0	-13	-18	-10	0	-13	-8	-8

Номинальный наружный диаметр D, мм	Допускаемые отклонения, мкм																	
	радиального биения дорожки качения Ra				биения наружной цилиндрической поверхности относительно базового торца Sa				осевого биения дорожки качения Aa**				непостоянства ширины колец Up					
	Классы точности																	
	Классы точности																	
	0		6		5		4		5		2		5		4		2	
	0	6	5	4	2	5	4	2	5	4	2	5	4	2	5	4	2	5
От 2,5 до 6	15	8	5	3	1,5	8	4	1,5	8	4	1,5	8	5	1,5	5	2,5	1,5	1,5
Св. 6 >> 18	15	8	5	3	1,5	8	4	1,5	8	4	1,5	8	5	1,5	5	2,5	1,5	1,5
>> 18 >> 30	15	9	6	4	2,5	8	4	1,5	8	4	1,5	8	5	2,5	5	2,5	1,5	1,5
>> 30 >> 50	20	10	7	5	2,5	8	4	1,5	8	4	1,5	8	5	2,5	5	2,5	1,5	1,5
>> 50 >> 80	25	13	8	5	4	8	4	1,5	10	4	1,5	10	5	4	6	3	1,5	1,5
>> 80 >> 120	35	18	10	6	5	9	5	2,5	11	5	2,5	11	6	5	8	4	2,5	2,5
>> 120 >> 150	40	20	11	7	5	10	5	2,5	13	5	2,5	13	7	5	8	5	2,5	2,5
>> 150 >> 180	45	23	13	8	5	10	5	2,5	14	5	2,5	14	8	5	8	5	2,5	2,5
>> 180 >> 250	50	25	15	10	7	11	7	4	15	7	4	15	10	7	10	7	4	4
>> 250 >> 315	60	30	18	11	7	13	8	5	18	8	5	18	10	7	11	7	5	5

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПОЛЯ ДОПУСКОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ В КОРПУСЕ
(ПОД НАРУЖНОЕ КОЛЬЦО)

Вращается корпус или вал	Характер нагружения кольца	Конструкция подшипникового узла	Режим работы подшипников	Класс точности подшипника			Примеры применения подшипниковых узлов
				10, 16	15, 14	12	
Подшипники радиальные							
Вал	Местный	Корпус цельный или разъемный; наружное кольцо может перемещаться в осевом направлении	Нормальный или легкий; теплоотдача через вал	G7	—	—	Сушильные цилиндры бумагоделательных машин
				H8	—	—	Трансмиссионные валы, сельскохозяйственные машины
				J _s 7 (J7)	J _s 6 (J6)	—	Электродвигатели, насосы, шпиндели металлорежущих станков
Вал или корпус	Колебательный	Корпус цельный; наружное кольцо перемещается в осевом направлении	Нагрузка динамическая, P > 0,15 C	H7, J _s 7, (J7)	—	—	Колесные пары ж/д транспорта и трамваев, большинство подшипниковых узлов общего машиностроения
				K6	K5, M5	K5	Роликоподшипники цилиндрические для шпинделей металлорежущих станков
				H6	J _s 6, J _s 5	J _s 4	Шарикоподшипники для шлифовальных шпинделей и малых электромоторов
Корпус	Циркуляционный	Корпус цельный; наружное кольцо легко перемещается в осевом направлении	Легкий, нагрузка переменного направления, высокая точность хода	H7, H6	H6, H5	H5, H4	Высокоскоростные электродвигатели для обораудования и высокооборотных приборов
				M7	—	—	Ролики ленточных транспортеров, колеса мостовых подъемных кранов
				N7	N6	—	Передние колеса автомашин и тягачей на шарикоподшипниках, колесчатые валы
Корпус или корпус и вал	Колебательный	Корпус цельный; наружное кольцо не перемещается в осевом направлении	Тяжелый; конструкция тонкостенная	P7	P6	—	Колеса самолетов, колеса автомобилей на конических подшипниках, ведущие барабаны гусеничных машин
				K6, J _s 6, (J6), M6	M6, J _s 6, (J6), M5	M5	Точные узлы, шпиндели тяжелых металлорежущих станков
				K7	—	—	Электродвигатели, насосы, коробки передач, задние мосты автомобилей
			Тяжелый, нагрузка динамическая	M7	—	—	Электродвигатели, тяговые электродвигатели

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПОЛЯ ДОПУСКОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ НА ВАЛЫ
(ПОД ВНУТРЕННЕЕ КОЛЬЦО)

Вращается корпус или вал	Характер нагружения кольца	Режим работы подшипника	Разновидности и размеры подшипников	Класс точности подшипника					Примеры применения подшипниковых узлов
				L0, L6	L5, L4	L2	Поля допусков		
				—	h5	—	h5	—	
Вал	Циркулярный	Легкий или нормальный $0,07C < P < 0,15C$	Шариковые радиальные $d < 18$ мм	k6 js 6	k5 js 5 (j5)	js 4, js 3 h3, k4, h4	Гидромоторы и малогабаритные электроприборы, внутришлифовальные шпиндели и электрошпиндели, сельскохозяйственные машины, центрифуги, газотурбинные двигатели, центробежные насосы, редукторы корабок скоростей станков, цепные передачи, турбохолодильники		
			Шариковые радиальные d св. 18 до 100 мм, роликовые (кроме сферических) $d < 40$ мм	k6, h6 js 6 (j6)	k5	k4			
			Шариковые радиальные d св. 100 до 140 мм, радиально-упорные d св. 40 до 140 мм	m6	—	—			
			Шариковые и роликовые d св. 140 до 250 мм	—	js 5 (j5)	h3			
			Шариковые радиальные $d < 18$ мм	k6, js 6	k5	k4			
			Шариковые радиальные d св. 18 до 100 мм, радиально-упорные $d < 100$ мм, и роликовые $d < 40$ мм	m6	m5	m4			
			Шариковые d св. 100 до 140 мм, роликовые d св. 40 до 100 мм	p6	n5	4n			
			Шариковые d св. 140 до 200 мм, роликовые сферические d св. 100 до 140 мм	p6, r6	—	—			
			Шариковые и роликовые (кроме сферических) d св. 200 до 250 мм, роликовые сферические d св. 140 до 250 мм	p6	—	—			
			Роликовые цилиндрические или игольчатые d св. 50 до 140 мм, роликовые сферические d св. 50 до 100 мм	p6	—	—			
Циркулярный или колебательный	Тяжелый, с ударными грузками	Роликовые сферические d св. 140 до 250 мм	r6, r7	—	—	Железнодорожные и трамвайные буксы, колесчатые валы двигателей, электродвигатели свыше 100 кВт, крупные тяговые электродвигатели, ходовые колеса мостовых кранов, ролики рольгангов тяжелых станков, дробильные машины, буксы тепловозов и электровозов, дорожные машины, экскаваторы, манипуляторы прокатных станков, шаровые дробилки, вибраторы, грохоты, инерционные транспортеры			

Вращается корпус или вал	Характер нагружения кольца	Режим работы подшипника	Разновидности и размеры подшипников	Класс точности подшипника			Примеры применения подшипниковых узлов
				L0, L6	L5, L4	L2	
				Поля допусков			
Корпус	Местный	Легкий и нормальный требуется перемещение кольца на валу $P < 0,07 C$	Шариковые и роликовые подшипники всех диапазонов диаметров	g6, (h6)	(g5), h5, g4	—	Ролики ленточных транспортеров, конвейеров, подвесных дорог, барабаны самописцев, опоры волновых передач
		Нормальный или тяжелый		.g6, f6, js 6, (j6) h6	—	—	
Нагрузка только осевая			Подшипники всех диапазонов диаметров	h6	—	—	Блоки грузоподъемных машин, ролики рольгангов, валки станков для прокатки труб
Вал или корпус	Любой	Нормальный	Подшипники на закрепительных и стяжных втулках все диапазонов диаметров	js 6, (j6)	—	—	Все подшипниковые узлы
		Тяжелый		h10, h11	—	—	
Нагрузка осевая			Подшипники упорные одинарные	h8, h7, h9	—	—	Железнодорожные и трамвайные буксы, буксы тяжелонагруженных транспортных устройств металлургического производства
Колебательный			Подшипники упорные со сферическими роликами $d < 200$ мм То же d св. 200 до 250 мм	js 6, (j6) / (k6)	—	—	
Нагрузка осевая и радиальная			Подшипники упорные со сферическими роликами $d < 200$ мм То же d св. 200 до 250 мм	k6	—	—	Все подшипниковые узлы
				m6	—	—	

**СИСТЕМА ОТВЕРСТИЯ. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ВАЛОВ ДЛЯ ПОСАДОК С ЗАЗОРОМ
ПРИ РАЗМЕРАХ СВЫШЕ 10 ДО 250 ММ**

Номинальные размеры, мм	Квалитеты													
	5		6		7		9		10					
	Предельные отклонения для полей допусков es, ei, мкм													
	q5	h5	f6	q6	h6	e7	f7	h7	d9	e9	f9	h9	d10	h10
Св. 10 до 18	-6 -14	0 -8	-16 -27	-6 -17	0 -11	-32 -50	-16 -34	0 -18	-50 -93	-32 -75	-16 -59	0 -43	-50 -120	0 -70
Св. 18 до 30	-7 -16	0 -9	-20 -33	-7 -20	0 -13	-40 -61	-20 -41	0 -21	-65 -117	-40 -92	-20 -72	0 -52	-65 -149	0 -84
Св. 30 до 50	-9 -20	0 -11	-25 -41	-9 -25	0 -16	-50 -75	-25 -50	0 -25	-80 -142	-50 -112	-25 -87	0 -62	-80 -180	0 -100
Св. 50 до 80	-10 -23	0 -13	-30 -49	-10 -29	0 -19	-60 -90	-30 -60	0 -30	-100 -174	-60 -134	-30 -104	0 -74	-100 -220	0 -120
Св. 80 до 120	-12 -27	0 -15	-36 -58	-12 -34	0 -22	-72 -107	-36 -71	0 -35	-120 -207	-72 -159	-36 -123	0 -87	-120 -260	0 -140
Св. 120 до 180	-14 -32	0 -18	-43 -68	-14 -39	0 -25	-85 -125	-43 -83	0 -40	-145 -245	-85 -185	-43 -143	0 -100	-145 -305	0 -160
Св. 180 до 250	-15 -35	0 -20	-50 -79	-15 -44	0 -29	-100 -146	-50 -96	0 -46	-170 -285	-100 -215	-50 -165	0 -115	-170 -335	0 -185

Номинальные размеры, мм	Квалитеты													
	8						11						12	
	Предельные отклонения для полей допусков es, ei мкм													
	<i>c8</i>	<i>d8</i>	<i>e8</i>	<i>f8</i>	<i>h8</i>	<i>a11</i>	<i>b11</i>	<i>c11</i>	<i>d11</i>	<i>h11</i>	<i>b12</i>	<i>h12</i>		
Св. 10 до 18	-95 -122	-50 -77	-32 -59	-16 -43	0 -27	-290 -400	-150 -260	-95 -205	-50 -160	0 -110	-150 -330	0 -180		
Св. 18 до 30	-110 -143	-65 -96	-40 -73	-20 -53	0 -33	-300 -430	-160 -290	-110 -240	-65 -195	0 -130	-160 -370	0 -210		
Св. 30 до 40	-120 -159	-80 -119	-50 -89	-25 -64	0 -39	-310 -470	-170 -330	-120 -280	-80 -240	0 -160	-170 -420	0 -250		
Св. 40 до 50	-130 -169	-80 -119	-50 -89	-25 -64	0 -39	-320 -480	-180 -340	-130 -290	-80 -240	0 -160	-180 -430	0 -250		
Св. 50 до 65	-140 -189	-100 -146	-60 -106	-30 -76	0 -46	-340 -530	-190 -380	-140 -330	-100 -290	0 -190	-190 -490	0 -300		
Св. 65 до 80	-150 -196	-100 -146	-60 -106	-30 -76	0 -46	-360 -550	-200 -390	-150 -340	-100 -290	0 -190	-200 -500	0 -300		
Св. 80 до 100	-170 -224	-120 -174	-72 -126	-36 -90	0 -54	-380 -600	-220 -440	-170 -390	-120 -340	0 -220	-220 -570	0 -350		
Св. 100 до 120	-180 -234	-120 -174	-72 -126	-36 -90	0 -54	-410 -630	-240 -460	-180 -400	-120 -340	0 -220	-240 -590	0 -350		
Св. 120 до 140	-200 -263	-145 -208	-85 -148	-43 -106	0 -63	-460 -710	-260 -510	-200 -450	-145 -395	0 -250	-260 -660	0 -400		
Св. 140 до 160	-210 -273	-145 -208	-85 -148	-43 -106	0 -63	-520 -770	-280 -530	-210 -460	-145 -395	0 -250	-280 -680	0 -400		
Св. 160 до 180	-230 -293	-145 -208	-85 -148	-43 -106	0 -63	-580 -830	-310 -560	-230 -480	-145 -395	0 -250	-310 -710	0 -400		
Св. 180 до 200	-240 -312	-170 -242	-100 -172	-50 -122	0 -72	-660 -950	-340 -630	-240 -530	-170 -460	0 -290	-340 -800	0 -460		
Св. 200 до 225	-260 -332	-170 -242	-100 -172	-50 -122	0 -72	-740 -1030	-380 -670	-260 -550	-170 -460	0 -290	-380 -840	0 -460		

**СИСТЕМА ОТВЕРСТИЯ. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ВАЛОВ ДЛЯ ПОСАДОК ПЕРЕХОДНЫХ
И С НАТЯГОМ ПРИ РАЗМЕРАХ СВ. 10 ДО 250 ММ**

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Номинальные размеры, мм	Квалитеты											
	5					6					7	
	<i>js5</i>	<i>k5</i>	<i>m5</i>	<i>n5</i>	<i>js6</i>	<i>k6</i>	<i>m6</i>	<i>n6</i>	<i>js7</i>	<i>R7</i>	<i>m7</i>	<i>n7</i>
Св. 10 до 18	+4.0 -4.0	+9 +1	+15 +7	+20 +12	+5.5 -5.5	+12 +1	+18 +7	+23 +12	+9 -9	+19 +1	+25 +7	+30 +12
Св. 18 до 30	+4.5 -4.5	+11 +2	+17 +3	+24 +15	+6.5 -6.5	+15 +2	+21 +8	+28 +15	+10 -10	+23 +2	+29 +8	+36 +15
Св. 30 до 50	+5.5 -5.5	+13 +2	+20 +9	+28 +17	+8 -8	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+12 -12	+27 +2	+34 +9	+42 +17
Св. 50 до 80	+6.5 -6.5	+15 +2	+24 +11	+33 +20	+9.5 -9.5	+21 +2	+30 +11	+39 +20	+15 -15	+32 +2	+41 +11	+50 +20
Св. 80 до 120	+7.5 -7.5	+18 +3	+28 +13	+38 +23	+11.0 -11.0	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+17 -17	+38 +3	+48 +13	+58 +23
Св. 120 до 180	+9.0 -9.0	+21 +3	+33 +15	+45 +27	+12.5 -12.5	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+20 -20	+43 +3	+55 +15	+57 +27
Св. 180 до 250	+10.0 -10.0	+24 +4	+37 +17	+51 +31	+14.5 -14.5	+33 +4	+46 +17	+60 +31	+23 -23	+50 +4	+63 +17	+77 +31

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																	
	5							6							7		8	
	Предельные отклонения для полей допусков es, ei, мкм																	
	p5	r5	s5	p6	r6	s6	t6	s7	u7	u8*	x8*	z8*						
Св. 10 до 18	+26 +18	+31 +23	+36 +28	+29 +18	+34 +23	+39 +28	-	+46 +28	+51 +33	+60 +33	+67 +40	+77 +50						
Св. 18 до 24	+31 +22	+37 +28	+44 +35	+35 +22	+41 +28	+48 +35	-	+56 +35	+62 +41	+74 +41	+87 +54	+106 +73						
Св. 24 до 30	+31 +22	+37 +28	+44 +35	+35 +22	+41 +28	+48 +35	+54 +45	+50 +35	+69 +48	+81 +48	+97 +64	+121 +88						
Св. 30 до 40	+37 +26	+45 +34	+54 +43	+42 +26	+50 +34	+59 +43	+64 +43	+68 +43	+85 +60	+99 +60	+119 +80	+151 +112						
Св. 40 до 50	+37 +26	+45 +34	+54 +43	+42 +26	+50 +34	+59 +43	+70 +54	+68 +43	+95 +70	+109 +70	+136 +97	+175 +135						
Св. 50 до 65	+45 +32	+54 +41	+66 +53	+51 +32	+60 +41	+72 +53	+85 +66	+83 +53	+117 +87	+133 +87	+168 +122	+218 +172						
Св. 65 до 80	+45 +32	+56 +43	+72 +59	+51 +32	+62 +43	+78 +59	+94 +75	+89 +59	+132 +102	+148 +102	+192 +146	+256 +210						
Св. 80 до 100	+52 +37	+66 +51	+86 +71	+59 +37	+73 +51	+93 +71	+113 +91	+106 +71	+159 +124	+178 +124	+232 +178	+312 +258						
Св. 100 до 120	+52 +37	+59 +54	+94 +79	+59 +37	+76 +54	+100 +79	+126 +104	+114 +79	+179 +144	+198 +144	+264 +210	+364 +310						
Св. 120 до 140	+61 +43	+81 +63	+110 +92	+68 +43	+88 +63	+110 +92	+147 +122	+132 +92	+210 +170	+233 +170	+311 +248	+428 +365						
Св. 140 до 160	+61 +43	+83 +65	+118 +100	+68 +43	+90 +65	+125 +100	+159 +134	+140 +100	+230 +190	+253 +190	+343 +280	+478 +415						
Св. 160 до 180	+61 +43	+86 +68	+126 +108	+68 +43	+93 +68	+133 +108	+171 +146	+148 +108	+250 +210	+273 +210	+373 +310	+528 +465						
Св. 180 до 200	+70 +50	+97 +77	+142 +122	+79 +50	+106 +77	+151 +122	+195 +166	+168 +122	+282 +236	+308 +236	+422 +350	+592 +520						
Св. 200 до 225	+70 +50	+100 +80	+150 +130	+79 +50	+109 +80	+159 +130	+200 +180	+176 +130	+304 +258	+330 +258	+457 +385	+647 +575						

**СИСТЕМА ВАЛА. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ ПОСАДОК С ЗАЗОРОМ
ПРИ РАЗМЕРАХ СВ. 10 ДО 250 ММ**

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																			
	5					6					7					8				
	Предельные отклонения для полей допусков ES, EI, мкм																			
	G5	H5	G6	H6	F7	G7	H7	D8	E8	F8	H8									
Св. 10 до 18	+14 +6	+8 0	+17 +6	+11 0	+34 +16	+24 +6	+18 0	+77 +50	+59 +32	+43 +16	+27 0									
Св. 18 до 30	+1 +7	+9 0	+20 +7	+13 0	+41 +20	+28 +7	+21 0	+98 +65	+73 +40	+53 +20	+33 0									
Св. 30 до 40	+20 +9	+11 0	+25 +9	+16 0	+50 +25	+34 +9	+25 0	+119 +80	+89 +50	+64 +25	+39 0									
Св. 40 до 50	+20 +9	+11 0	+25 +9	+16 0	+50 +25	+34 +9	+25 0	+119 +80	+89 +50	+64 +25	+39 0									
Св. 50 до 65	+23 +10	+13 0	+29 +10	+19 0	+60 +30	+40 +10	+30 0	+146 +100	+106 +60	+76 +30	+46 0									
Св. 65 до 80	+23 +10	+13 0	+29 +10	+19 0	+50 +30	+40 +10	+30 0	+146 +100	+106 +60	+76 +30	+46 0									
Св. 80 до 100	+27 +12	+15 0	+32 +12	+22 0	+71 +36	+47 +12	+35 0	+174 +120	+126 +72	+90 +36	+54 0									
Св. 100 до 120	+27 +12	+15 0	+32 +12	+22 0	+71 +36	+47 +12	+35 0	+174 +120	+126 +72	+90 +36	+54 0									
Св. 120 до 140	+32 +14	+18 0	+39 +14	+25 0	+33 +43	+54 +14	+40 0	+208 +145	+148 +85	+106 +43	+63 0									
Св. 140 до 160	+32 +14	+18 0	+39 +14	+25 0	+83 +43	+54 +14	+40 0	+208 +145	+148 +85	+106 +43	+63 0									
Св. 160 до 180	+32 +14	+18 0	+39 +14	+25 0	+83 +43	+54 +14	+40 0	+208 +145	+148 +85	+106 +43	+63 0									
Св. 180 до 200	+35 +15	+20 0	+44 +15	+29 0	+96 +50	+61 +15	+46 0	+242 +170	+172 +100	+122 +50	+72 0									
Св. 200 до 225	+35 +15	+20 0	+44 +15	+29 0	+96 +50	+61 +15	+46 0	+242 +170	+172 +100	+122 +50	+72 0									

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																			
	9						10						11						12	
	Предельные отклонения для полей допусков ES, EI, мкм																			
	D9	E9	F9	H9	D10	H10	A11	B11	C11	D11	H11	B12	H12							
Св. 10 до 18	+93 +50	+75 +32	+39 +16	+43 0	+120 +50	+70 0	+400 +290	+260 +150	+205 +95	+160 +50	+110 0	+330 +150	+180 0							
Св. 18 до 30	+117 +65	+92 +40	+72 +20	+52 0	+149 +65	+84 0	+430 +300	+290 +160	+240 +110	+195 +65	+130 0	+370 +160	+210 0							
Св. 30 до 40	+142 +80	+112 +50	+87 +25	+62 0	+180 +80	+100 0	+470 +310	+330 +170	+280 +120	+240 +80	+160 0	+420 +170	+250 0							
Св. 40 до 50	+142 +80	+112 +50	+87 +25	+62 0	+180 +80	+100 0	+480 +320	+340 +180	+290 +130	+240 +80	+160 0	+430 +180	+250 0							
Св. 50 до 65	+174 +100	+134 +60	+104 +30	+74 0	+220 +100	+120 0	+530 +340	+380 +190	+330 +140	+290 +100	+190 0	+490 +190	+300 0							
Св. 65 до 80	+174 +100	+134 +60	+104 +30	+74 0	+220 +100	+120 0	+550 +360	+390 +200	+340 +150	+290 +100	+190 0	+500 +200	+300 0							
Св. 80 до 100	+207 +120	+159 +72	+123 +36	+87 0	+260 +120	+140 0	+600 +380	+440 +220	+390 +170	+340 +120	+220 0	+570 +220	+350 0							
Св. 100 до 120	+207 +120	+159 +72	+123 +36	+87 0	+260 +120	+140 0	+630 +410	+460 +240	+400 +180	+340 +120	+220 0	+590 +240	+350 0							
Св. 120 до 140	+245 +145	+185 +85	+143 +43	+100 0	+305 +145	+160 0	+710 +460	+510 +260	+450 +200	+395 +145	+250 0	+660 +260	+400 0							
Св. 140 до 160	+245 +145	+185 +85	+143 +43	+100 0	+305 +145	+160 0	+770 +520	+530 +280	+460 +210	+395 +145	+250 0	+680 +280	+400 0							
Св. 160 до 180	+245 +145	+185 +85	+143 +43	+100 0	+305 +145	+160 0	+830 +580	+560 +310	+480 +230	+395 +145	+250 0	+710 +310	+400 0							
Св. 180 до 200	+285 +170	+215 +100	+155 +50	+115 0	+355 +170	+185 0	+950 +580	+630 +340	+530 +240	+460 +170	+290 0	+800 +340	+460 0							
Св. 200 до 225	+285 +170	+185 +100	+155 +50	+115 0	+355 +170	+185 0	+1030 +740	+670 +380	+550 +260	+460 +170	+290 0	+840 +380	+460 0							
Св. 225 до 250	+285 +170	+185 +100	+155 +50	+115 0	+355 +170	+185 0	+1110 +820	+710 +420	+570 +280	+460 +170	+290 0	+880 +420	+460 0							

**СИСТЕМА ВАЛА. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ ПОСАДОК ПЕРЕХОДНЫХ
И С НАТЯГОМ ПРИ РАЗМЕРАХ СВ. 10 ДО 250 ММ**

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Номинальные размеры, мм	Квалитеты											
	5					6					7	
	<i>Js5</i>	<i>K5</i>	<i>M5</i>	<i>N5</i>	<i>Js6</i>	<i>K6</i>	<i>M6</i>	<i>N6</i>	<i>Js7</i>	<i>K7</i>	<i>M7</i>	<i>N7</i>
Св. 10 до 18	+4 -4	+2 -6	-4 -12	-9 -17	+5.5 -5.5	+2 -9	-4 -15	-9 -20	+9 -9	+6 -12	0 -18	-5 -23
Св. 18 до 30	+4.5 -4.5	+1 -8	-5 -14	-19 -28	+6.5 -6.5	+2 -11	-4 -17	-11 -24	+10 -10	+6 -15	0 -21	-7 -28
Св. 30 до 40	+5.5 -5.5	+2 -9	-5 -16	-22 -33	+8 -8	+3 -13	-4 -20	-12 -28	+12 -12	+7 -18	0 -25	-8 -33
Св. 40 до 50	+5.5 -5.5	+2 -9	-5 -16	-22 -33	+8 -8	+3 -13	-4 -20	-12 -28	+12 -12	+7 -18	0 -25	-8 -33
Св. 50 до 65	+6.5 -6.5	+3 -10	-6 -19	-27 -40	+9.5 -9.5	+4 -15	-5 -24	-14 -33	+15 -15	+9 -21	0 -30	-9 -39
Св. 65 до 80	+6.5 -6.5	+3 -10	-6 -19	-27 -40	+9.5 -9.5	+4 -15	-5 -24	-14 -33	+15 -15	+9 -21	0 -30	-9 -39
Св. 80 до 100	+7.5 -7.5	+2 -13	-8 -23	-32 -47	+11 -11	+4 -18	-6 -28	-16 -38	+17 -17	+10 -25	0 -35	-10 -45
Св. 100 до 120	+7.5 -7.5	+2 -13	-8 -23	-32 -47	+11 -11	+4 -18	-6 -28	-16 -38	+20 -20	+10 -25	0 -35	-10 -45
Св. 120 до 140	+9 -9	+3 -15	-9 -27	-37 -55	+12.5 -12.5	+4 -21	-8 -33	-20 -45	+20 -20	+12 -28	0 -40	-12 -52
Св. 140 до 160	+9 -9	+3 -15	-9 -27	-37 -55	+12.5 -12.5	+4 -21	-8 -33	-20 -45	+20 -20	+12 -28	0 -40	-12 -52
Св. 160 до 180	+9 -9	+3 -15	-9 -27	-37 -55	+12.5 -12.5	+4 -21	-8 -33	-20 -45	+23 -23	+12 -28	0 -40	-12 -52
Св. 180 до 200	+10 -10	+2 -18	-11 -31	-44 -64	+14.5 -14.5	+5 -24	-8 -37	-22 -51	+23 -23	+13 -33	0 -46	-14 -60
Св. 200 до 225	+10 -10	+2 -18	-11 -31	-44 -64	+14.5 -14.5	+5 -24	-8 -37	-22 -51	+23 -23	+13 -33	0 -46	-14 -60
Св. 225 до 250	+10 -10	+2 -18	-11 -31	-44 -64	+14.5 -14.5	+5 -24	-8 -37	-22 -51	+23 -23	+13 -33	0 -46	-14 -60

Номинальные размеры, мм	Квалитеты																							
	8				9				6				7				8							
	Предельные отклонения для полей допусков ES, EI, мкм																							
<i>Js8</i>	<i>K8</i>	<i>M8</i>	<i>N8</i>	<i>N9</i>	<i>P9</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>R7</i>	<i>S7</i>	<i>T7</i>	<i>U8</i>	<i>Js8</i>	<i>K8</i>	<i>M8</i>	<i>N8</i>	<i>N9</i>	<i>P9</i>	<i>P6</i>	<i>P7</i>	<i>R7</i>	<i>S7</i>	<i>T7</i>	<i>U8</i>	
Св. 10 до 18	+13 -13	+8 -19	+2 -25	-3 -30	0 -43	-18 -61	-15 -26	-11 -29	-16 -34	-	-33 -60	+16 -16	+10 -23	+4 -29	-3 -36	0 -52	-22 -74	-18 -31	-14 -35	-20 -41	-27 -48	-33 -54	-48 -81	-33 -60
Св. 18 до 30	+19 -19	+12 -27	+5 -34	-3 -42	0 -62	-26 -88	-21 -37	-17 -42	-25 -50	-39 -64	-60 -99	+19 -19	+12 -27	+5 -34	-3 -42	0 -62	-26 -88	-21 -37	-17 -42	-25 -50	-34 -59	-39 -64	-60 -99	-33 -60
Св. 30 до 40	+19 -19	+12 -27	+5 -34	-3 -42	0 -62	-26 -88	-21 -37	-17 -42	-25 -50	-39 -64	-60 -99	+19 -19	+12 -27	+5 -34	-3 -42	0 -62	-26 -88	-21 -37	-17 -42	-25 -50	-34 -59	-39 -64	-60 -99	-33 -60
Св. 40 до 50	+23 -23	+14 -32	+5 -41	-4 -50	0 -74	-32 -106	-26 -45	-21 -51	-30 -60	-55 -85	-133	+23 -23	+14 -32	+5 -41	-4 -50	0 -74	-32 -106	-26 -45	-21 -51	-30 -60	-42 -72	-55 -85	-87 -133	-70 -109
Св. 50 до 65	+23 -23	+14 -32	+5 -41	-4 -50	0 -74	-32 -106	-26 -45	-21 -51	-30 -60	-55 -85	-133	+23 -23	+14 -32	+5 -41	-4 -50	0 -74	-32 -106	-26 -45	-21 -51	-30 -60	-42 -72	-55 -85	-87 -133	-70 -109
Св. 65 до 80	+27 -27	+16 -38	+6 -48	-4 -58	0 -87	-37 -124	-30 -52	-24 -59	-30 -73	-78 -113	-178	+27 -27	+16 -38	+6 -48	-4 -58	0 -87	-37 -124	-30 -52	-24 -59	-30 -73	-58 -93	-78 -113	-124 -178	-144 -198
Св. 80 до 100	+27 -27	+16 -38	+6 -48	-4 -58	0 -87	-37 -124	-30 -52	-24 -59	-30 -73	-78 -113	-178	+27 -27	+16 -38	+6 -48	-4 -58	0 -87	-37 -124	-30 -52	-24 -59	-30 -73	-58 -93	-78 -113	-124 -178	-144 -198
Св. 100 до 120	+27 -27	+16 -38	+6 -48	-4 -58	0 -87	-37 -124	-30 -52	-24 -59	-30 -73	-78 -113	-178	+27 -27	+16 -38	+6 -48	-4 -58	0 -87	-37 -124	-30 -52	-24 -59	-30 -73	-58 -93	-78 -113	-124 -178	-144 -198
Св. 120 до 140	+31 -31	+20 -43	+8 -55	-4 -67	0 -100	-43 -143	-36 -61	-28 -68	-48 -88	-107 -147	-253	+31 -31	+20 -43	+8 -55	-4 -67	0 -100	-43 -143	-36 -61	-28 -68	-48 -88	-77 -117	-107 -147	-170 -253	-170 -253
Св. 140 до 160	+31 -31	+20 -43	+8 -55	-4 -67	0 -100	-43 -143	-36 -61	-28 -68	-48 -88	-107 -147	-253	+31 -31	+20 -43	+8 -55	-4 -67	0 -100	-43 -143	-36 -61	-28 -68	-48 -88	-77 -117	-107 -147	-170 -253	-170 -253
Св. 160 до 180	+31 -31	+20 -43	+8 -55	-4 -67	0 -100	-43 -143	-36 -61	-28 -68	-48 -88	-107 -147	-253	+31 -31	+20 -43	+8 -55	-4 -67	0 -100	-43 -143	-36 -61	-28 -68	-48 -88	-77 -117	-107 -147	-170 -253	-170 -253
Св. 180 до 200	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-149 -195	-308	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-105 -151	-149 -195	-236 -308	-236 -308
Св. 200 до 225	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-149 -195	-308	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-105 -151	-149 -195	-236 -308	-236 -308
Св. 225 до 250	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-149 -195	-308	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-105 -151	-149 -195	-236 -308	-236 -308
Св. 225 до 250	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-149 -195	-308	+36 -36	+22 -50	+9 -63	-5 -77	0 -115	-50 -165	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-105 -151	-149 -195	-236 -308	-236 -308

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

**ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОСАДОЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ
И ОТВЕРСТИЙ КОРПУСОВ ПОД ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ**

Посадочные поверхности	Класс точности подшипников	Номинальный диаметр, мм	
		до 80	св. 80 до 500
		Шероховатость поверхности Ra, мкм не более (ГОСТ 2789-73)	
Валов	0	1,25	2,5
	6 и 5	0,63	1,25
	4	0,32	0,63
Отверстий корпусов	0	1,25	2,5
	6; 5 и 4	0,63	1,25
Торцов заплечиков валов и отверстий корпусов	0	2,5	2,5
	6; 5 и 4	1,25	2,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

**ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ СОЕДИНЕНИЙ
С ПРИЗМАТИЧЕСКИМИ ШПОНКАМИ, ММ**

Диаметр вала	Номинальный размер шпонки				Номинальные размеры паза				
	b × h	Фаска S		Интервалы длин l		Глубина		Радиус закругления или фаска S ₁ × 45°	
		max	min	от	до	на валу t ₁	во втулке t ₂	max	min
От 6 до 8	2 × 2			6	20	1,2	1,0		
Св. 8 – 10	3 × 3	0,25	0,16	6	36	1,8	1,4	0,16	0,08
10 – 12	4 × 4			8	45	2,5	1,8		
Св. 12 до 17	5 × 5	0,40	0,25	10	56	3,0	2,3	0,25	0,16
17 – 22	6 × 6			14	70	3,5	2,8		
22 – 30	8 × 7			18	90	4,0	3,3		
Св. 30 до 38	10 × 8	0,60	0,40	22	110	5,0	3,3	0,4	0,25
38 – 44	12 × 8			28	140	5,0	3,3		
44 – 50	14 × 9			36	160	5,5	3,8		
50 – 58	16 × 10			45	180	6,0	4,3		
58 – 65	18 × 11			50	200	7,0	4,4		
Св. 65 до 75	20 × 12	0,80	0,60	56	220	7,5	4,9	0,6	0,4
75 – 85	22 × 14			63	250	9,0	5,4		
85 – 95	25 × 14			70	280	9,0	5,4		
95 – 110	28 × 16			80	320	10,0	6,4		
110 – 130	32 × 18			90	360	11,0	7,4		
Св. 130 до 150	36 × 20	1,20	1,00	100	400	12,0	8,4	1,0	0,7
150 – 170	40 × 22			100	400	13,0	9,4		
170 – 200	45 × 25			110	450	15,0	10,4		
200 – 230	50 × 28			125	500	17,0	11,4		
Св. 230 до 260	56 × 32	2,00	1,60	140		20,0	12,4	1,6	1,2
260 – 290	63 × 32			160	500	20,0	12,4		
290 – 330	70 × 36			180		22,0	14,4		
Св. 330 до 380	80 × 40	3,00	2,50	200		25,0	15,4	2,5	2,0
380 – 440	90 × 45			220	500	28,0	17,4		
440 – 500	100 × 50			250		31,0	19,5		

Примечания:

1. ГОСТ 23360-78 не распространяется на шпоночные соединения, применяемые для крепления режущего инструмента.

2. Длины шпонок выбираются 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...

3. Допускается применять шпонки с длиной, выходящей за пределы диапазона длин, указанного в таблице.

Пример условного обозначения призматической шпонки исполнения 1 с размерами b = 18 мм, h = 11 мм, l = 100 мм:

Шпонка 18 × 11 × 100 ГОСТ 23360-78

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

**ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ПО ШИРИНЕ b
ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
С ПРИЗМАТИЧЕСКИМИ ШПОНКАМИ (ПО ГОСТ 26360-78)**

Элемент соединения	Предельные отклонения размера b при соединении						
	любом	свободном		нормальном		плотном	
		На валу	Во втулке	На валу	Во втулке	На валу	Во втулке
Шпонка	h9	—	—	—	—	—	
Паз	—	H9	D10	N9	J _s 9	P9	

Параметр соединения	Посадки		
	для производства		для направляющих шпонок
	единичного и серийного	серийного и массового	
Ширина шпонки	h9	h9	h9
Ширина паза на валу	P9	N9	H9, N9
Ширина паза во втулке	J _s 9	D10, J _s 9	D10

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

**ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ НЕСОПРЯГАЕМЫХ РАЗМЕРОВ
СОЕДИНЕНИЯ С ПРИЗМАТИЧЕСКИМИ ШПОНКАМИ**

Элемент соединения	Предельные отклонения размера				
	Высота, h	Длина, l	Глубина (или проставляемый на чертеже размер) на валу t_1 (или $d - t_1$) [*] и на втулке t_2 (или $d + t_2$)		
			При h , мм		
			От 2 до 6	Св. 6 до 18	Св. 18 до 50
Шпонка	$h11, h9$ ^{**}	$h14$	—	—	—
Паз	—	$H15$	+0.1 0	+0.2 0	+0.3 0

^{*} Для указанного размера те же предельные отклонения назначаются и со знаком «минус»
^{**} При $h = 2 - 6$ мм

Учебное издание

**Медведева Ольга Ивановна
Семибратова Марина Владимировна**

**НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Учебное пособие

Научный редактор – кандидат технических наук,
профессор С. Г. Танкова

Редактор С. Д. Михалева

Подписано в печать 24.10.2013.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 65 г/м². Ризограф EZ570E.
Усл. печ. л. 8,83. Уч.-изд. л. 8,60. Тираж 100 экз. Заказ 25846.

Редакционно-издательский отдел
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.