



Кафедра механики

**ВЫБОР ДОПУСКОВ, ПОСАДОК,
ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ,
РАСПОЛОЖЕНИЯ И ШЕРОХОВАТОСТИ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Методические указания по курсу "Детали машин и основы конструирования"

для студентов специальностей

190301 – Локомотивы,
190302 – Вагоны
190205 – Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование
190303 – Электрический транспорт железных дорог.

всех форм обучения

Составители: Толстоногов А.А.,
Янковский В.В.

Самара 2005 г.

УДК 621.81.

Методические указания для курсового проектирования по дисциплине "Детали машин и основы конструирования" для студентов специальностей 190301, 190302, 190303, 190205 всех форм обучения / Составители: Толстоногов А.А., Янковский В.В. Самара, СамГАПС, 2005.- 22 с.

Утверждено на заседании кафедры, протокол № 6 от 24 февраля 2005г.
Печатается по решению редакционно-издательского совета академии.

Рассмотрены основные понятия допусков, посадок, отклонений и неровностей поверхностей деталей машин. Приведены примеры их обозначения на чертежах в различных случаях. Методические указания предназначены для студентов механических специальностей. Могут быть рекомендованы студентам всех специальностей, изучающих курс "прикладная механика".

Составители: Толстоногов Андрей Арленович,
Янковский Виктор Владимирович.

Рецензенты: Профессор кафедры механики СамИИТ Фёдоров В.В.

Редактор: Шими́на И.А.
Компьютерная вёрстка: Чертыковцева Н.В.

Подписано в печать Формат 60x90 1/16
Бумага писчая. Печать оперативная. Усл. печ. л 1,37
Тираж 500 экз. Заказ №

© Самарская государственная академия путей сообщения, 2005.

ВВЕДЕНИЕ.

В состав курсового проекта по дисциплинам "Детали машин и основы конструирования" и "Прикладная механика" входит графическая часть, которая включает в себя принципиальную кинематическую схему механизма, сборочный чертеж механизма, чертежи общего вида привода и рабочие чертежи деталей. Общие требования, предъявляемые к машиностроительным чертежам, изложены в соответствующих стандартах ЕСКД.

Одной из основных задач в процессе проектирования механизмов является разработка таких чертежей, которые способствовали бы обеспечению необходимой технологичности и высокого качества деталей. Решение этой задачи связано с выбором необходимой точности изготовления изделий, выбором шероховатости поверхностей, а также выбором отклонений от геометрической формы и расположения поверхностей.

В настоящих методических указаниях изложены общие рекомендации по выбору необходимой точности изготовления изделий, по выбору посадок для типовых соединений деталей машин, а также по выбору отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей. Кроме выбора посадок, отклонений формы, расположения и шероховатости в настоящих методических указаниях приведены правила обозначений этих отклонений на сборочных чертежах механизмов и рабочих чертежах деталей.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ. РАЗМЕРЫ, ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ, ДОПУСКИ.

Взаимозаменяемость означает возможность сборки (а также замены при ремонте) сопрягаемых деталей в узел или узлов в прибор (машину) без дополнительной их обработки (подгонки) при соблюдении требований качества, надежности и экономичности данного узла или механизма в целом.

В современном производстве взаимозаменяемыми изготавливают различные детали, узлы и механизмы. Примерами взаимозаменяемых деталей могут служить запасные части к различным приборам и машинам, электроарматура, стандартные крепежные детали – винты, болты, гайки и др. Примерами взаимозаменяемых узлов могут быть электро- и радиолампы, подшипники качения, полупроводниковые приборы (транзисторы, диоды) и др. В общем случае взаимозаменяемость должна обеспечиваться как по геометрическим, так и по физическим и по физико-техническим параметрам, характеризующим качество детали, узла и прибора в целом. Чтобы обеспечить взаимозаменяемость, параметры деталей, элементов или узлов машин должны отвечать заранее установленной точности. Под точностью следует понимать степень соответствия того или иного параметра заданному значению. Точность оценивают погрешностью. Погрешность равна разности измеренного и идеального параметров. Точность деталей по геометрическим параметрам есть совокупность понятий, подразделяющихся по следующим признакам:

1. точности размеров элементов;
2. точности формы поверхностей элементов (макрогеометрия поверхности);
3. точности по шероховатости поверхности (микрогеометрия поверхности);
4. точности взаимного расположения элементов.

При разборке конструкции детали, узла или механизма в целом необходимо исходить из того, что погрешности параметров не только неизбежны, но и допустимы в опре-

деленных пределах, при которых деталь (узел) еще удовлетворяет требованиям правильной работы и функционирования машины. Не требуется получение абсолютного, идеального значения параметра, т.е. нулевой погрешности, так как это требование неосуществимо в реальных условиях изготовления и измерения.

Одним из основных признаков точности деталей по геометрическим параметрам является точность размеров деталей и их элементов. В соответствии с этим размеры подразделяются на номинальные, действительные и предельные.

Номинальный размер (D ; d ; l и др.) – размер, который служит началом отсчета отклонений и относительно которого определяются предельные размеры. Он выбирается не произвольно, а исходя из функционального назначения детали путем расчета (на прочность, жесткость и др.) и на основе конструктивных и технологических соображений. Номинальный размер указывают в чертежах деталей.

Действительным размером (D_0 ; d_0 ; l_0 и др.) называется размер, полученный при изготовлении и установленный измерением детали с допустимой точностью.

Предельными размерами называются два предельно допускаемых размера, между которыми должен находиться действительный размер годной детали. Большой из двух предельных размеров называется наибольшим предельным размером (D_{max} ; d_{max}), меньший – наименьшим предельным размером (D_{min} ; d_{min}).

Допуском размера T называется разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами.

$$\begin{aligned} \text{Для отверстия} & \quad TD = D_{max} - D_{min}, \\ \text{для вала} & \quad TD = d_{max} - d_{min}. \end{aligned} \quad (1)$$

Допуск является мерой точности размера. Чем меньше допуск, тем выше требуемая точность детали. Однако, следует помнить, что допуск непосредственно влияет на трудоемкость изготовления и себестоимость детали. Чем больше допуск, тем проще и дешевле изготовление.

Для упрощения чертежей введены понятия предельных отклонений от номинального размера, проставляемых рядом с размером со знаками “+” или “–”.

Верхним предельным отклонением ES (es) называется разность между наибольшим предельным и номинальным размерами, т.е. для

$$\begin{aligned} \text{отверстий} & \quad ES = D_{max} - D, \\ \text{для валов} & \quad es = d_{max} - d. \end{aligned} \quad (2)$$

Нижним предельным отклонением EI (ei) называется разность между наименьшим предельным и номинальным размерами, т.е. для

$$\begin{aligned} \text{отверстий} & \quad EI = D_{min} - D, \\ \text{для валов} & \quad ei = d_{min} - d. \end{aligned} \quad (3)$$

Выразив из выражения (2) и (3) значения предельных размеров через предельные отклонения и подставив их в выражения (1), можно получить выражение допуска размера через предельные отклонения, т.е.

$$\begin{aligned} TD &= ES - EI, \\ Td &= es - ei. \end{aligned} \quad (4)$$

Иначе говоря, допуск размера есть алгебраическая разность между верхним и нижним предельными отклонениями.

2. СОЕДИНЕНИЯ И ПОСАДКИ. ВИДЫ ПОСАДОК. ОБОЗНАЧЕНИЕ ПОСАДОК НА ЧЕРТЕЖАХ.

Две или несколько подвижно или неподвижно соединяемых деталей называют сопрягаемыми. Классификация соединений по форме сопрягаемых поверхностей деталей (цилиндрические, конические, резьбовые и т.д.) и по степени свободы их взаимного перемещения (разъемные, неразъемные, подвижные, неподвижные т.д.) даны в соответствующих разделах курсов "Детали машин и основы конструирования" и "Прикладная механика".

Поверхности, по которым происходит соединение деталей, называют сопрягаемыми поверхностями. Остальные поверхности называют несопрягаемыми (свободными). В соответствии с этим различают размеры сопрягаемых и несопрягаемых (свободных) поверхностей.

В соединениях деталей различают охватывающие и охватываемые поверхности. Для обозначения наружных (охватываемых) элементов (поверхностей) деталей применяют общий термин "вал". Для обозначения внутренних (охватывающих) элементов (поверхностей) деталей применяют общий термин "отверстие".

При соединении двух деталей образуется посадка. Посадкой называется характер соединения, определяемый величиной получающихся зазоров или натягов. В соответствии с этим разделяют посадки с зазором, посадки с натягом и переходные посадки.

Зазором S называется разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала: он обеспечивает возможность относительного перемещения собранных деталей.

Натягом N называется разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия: он обеспечивает взаимную неподвижность деталей после их сборки.

Посадка с зазором – это посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении. Посадка с натягом – посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении. Переходная посадка – посадка, при которой возможно получение, как зазора, так и натяга.

Совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов, образуют систему допусков и посадок.

С 1.01.1977 г. в СССР осуществлен переход на Единую систему допусков и посадок СЭВ для гладких цилиндрических соединений (ЕСДП СЭВ) и на Основные нормы взаимозаменяемости СЭВ для остальных соединений.

В системе ЕСДП СЭВ предусмотрены посадки преимущественно в системе отверстия и в отдельных случаях в системе вала.

Система отверстия применяется в большинстве случаев, при этом заданное сопряжение (посадка) деталей выполняется за счёт доработки вала (точение, шлифовка и т.п.).

Система вала применяется редко, главным образом при монтаже наружных колец подшипников в корпус, когда "вал" (наружное кольцо) обрабатывать нельзя. При этом заданное сопряжение (посадка) деталей достигается растачиванием или шлифованием внутренней поверхности отверстия в корпусе.

Посадки в системе отверстия – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием, обозначаемым H .

Посадки в системе валов – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом, обозначаемым буквой h .

Для образования посадок с различными зазорами и натягами в *ЕСДП СЭВ* для размеров до 500мм предусмотрено по 27 вариантов основных отклонений валов и отверстий.

Основное отклонение – это отклонение, ближайшее к нулевой линии, используемое для определения положения поля допуска относительно нулевой линии. Основные отклонения отверстий обозначают прописными буквами латинского алфавита (от *A* до *ZC*), валов – строчными (от *a* до *zc*). Отклонения *A – H (a – h)* предназначены для образования полей допусков в посадках с зазором; отклонения *I – N (i – n)* – в переходных посадках; отклонения *P – zc (p – zc)* – в посадках с натягом.

На машиностроительных чертежах предельные отклонения линейных размеров указывают условными (буквенными) обозначениями полей допусков (рис. 1,а) или числовым значением (рис. 1,б), а также с одновременным указанием справа от буквенного их числовых значений в скобках (рис. 1,в).

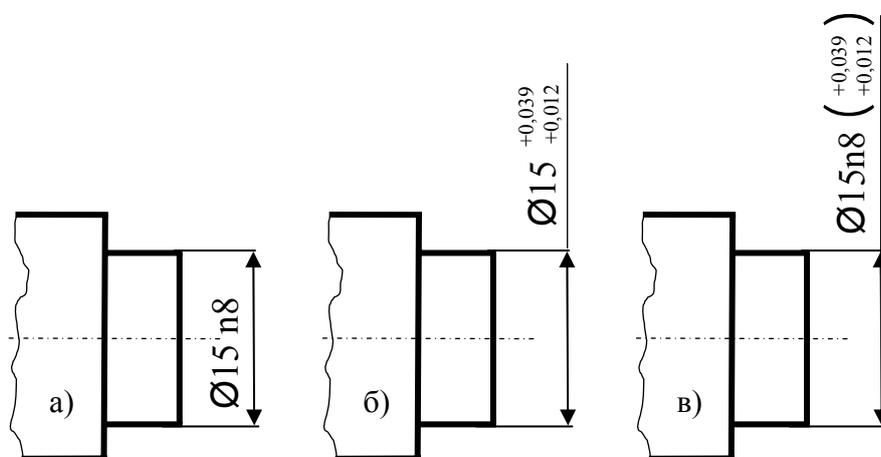


Рис. 1. Примеры указания предельных отклонений размеров на чертежах.

Посадки и предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в собранном виде, указывают дробью, в числителе которой ставится буквенное или числовое обозначение предельных отклонений отверстия, а в знаменателе – аналогичные обозначения поля допуска вала (рис. 2).

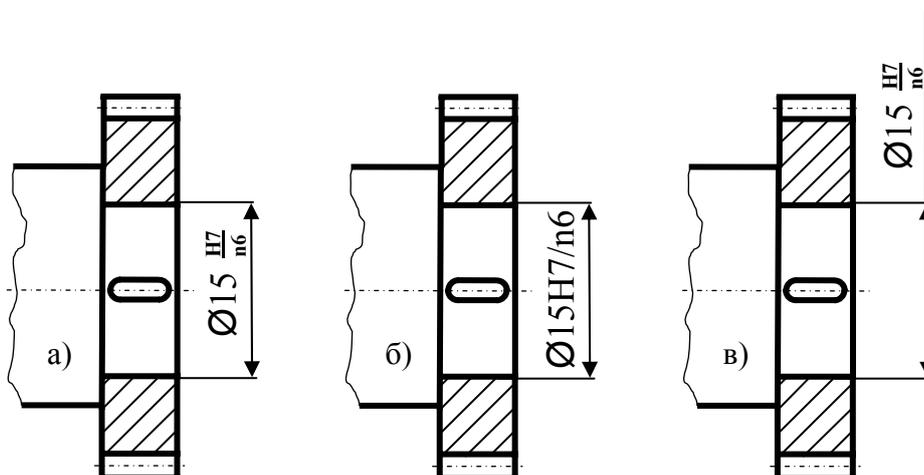


Рис. 2. Возможные варианты обозначения одной и той же посадки на чертежах

Предельные отклонения следует назначать для всех размеров, проставленных на рабочих чертежах, не исключая и несопрягаемые неответственные размеры. Причем, если предельные отклонения на такие размеры не указаны непосредственно у размеров, то их оговаривают общей записью в технических требованиях, например: “Неуказанные предельные отклонения размеров **H14, h14, $\pm t/2$.**” В этой записи **H14** означает неуказанные предельные отклонения для отверстий, **h14** – для валов, **$\pm t/2$** - предельные отклонения для размеров, не относящимся ни к отверстиям, ни к валам, назначенные по точному, среднему, грубому или очень грубому классам точности в соответствии с **СТ СЭВ 303-76**.

2.1. Примеры обозначения полей допусков и посадок в системе вала и в системе отверстия.

Рассмотрим сопряжение вала с отверстием в системе вала.

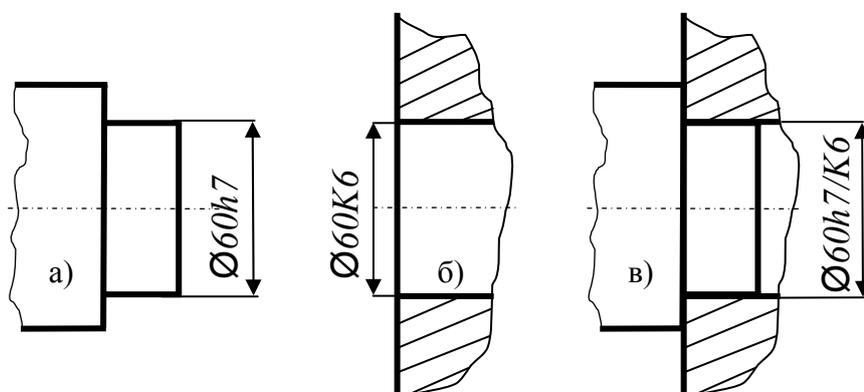


Рис. 3. Допуск вала, допуск отверстия и сопряжение вала с отверстием. Посадка переходная. Система вала.

Здесь изображено сопряжение вала и отверстия в системе вала, т.е. необходимая посадка достигается обработкой (шлифовкой, полировкой и т.п.) отверстия. Вал (Рис. 3.а) имеет номинальный диаметр 60 миллиметров, поле допуска "**h**" на его диаметр назначено "в тело" с отрицательными отклонениями размера по 7-му качеству, т.е. минимальное и максимальное отклонения размера равны от 0мкм до -30мкм. Таким образом, фактический диаметр вала лежит в диапазоне $59,970\text{мм} \leq \text{Ø}_{\text{вала}} \leq 60,000\text{мм}$. Отверстие (Рис. 3.б) имеет номинальный диаметр также 60 мм, однако его поле допуска "**K**" назначено с отрицательными отклонениями размера по 6-му качеству, что означает минимальное и максимальное отклонения размера от номинала в пределах от +4мкм до -15мкм. Следовательно фактический диаметр отверстия лежит в диапазоне $59,985\text{мм} \leq \text{Ø}_{\text{ome}} \leq 60,004\text{мм}$. При монтаже вала в отверстие (Рис. 3.в) получаем переходную посадку $\text{Ø}60h7/K6$, дающую сопряжение в диапазоне от натяга 15мкм до зазора 34мкм и обеспечивающую достаточное центрирование при лёгкой сборке и разборке.

Рассмотрим сопряжение вала с отверстием в системе отверстия.

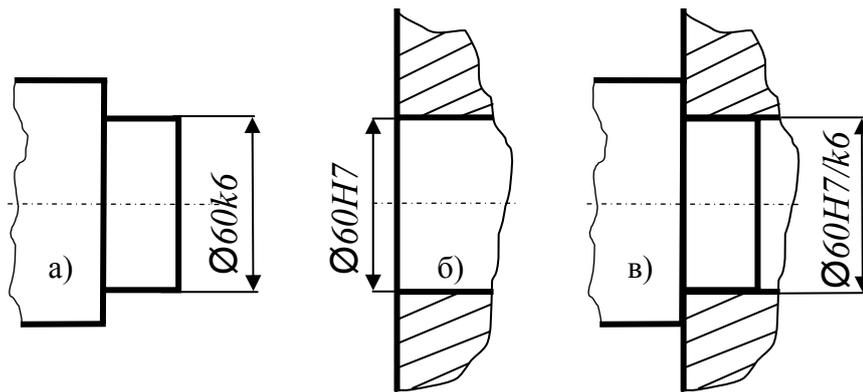


Рис. 4. Допуск вала, допуск отверстия и сопряжение вала с отверстием. Посадка переходная. Система отверстия.

Здесь изображено сопряжение вала и отверстия в системе отверстия, т.е. необходимая посадка достигается обработкой (шлифовкой, полировкой и т.п.) вала. Вал (Рис. 4.а) имеет номинальный диаметр 60 миллиметров, поле допуска "к" на его диаметр назначено с положительными отклонениями размера по 6-му качеству, т.е. минимальное и максимальное отклонения размера равны от +2мкм до +21мкм. Таким образом, фактический диаметр вала лежит в диапазоне $60,002\text{мм} \leq \text{Ø}_{\text{вала}} \leq 60,021\text{мм}$. Отверстие (Рис. 4.б) имеет номинальный диаметр также 60 мм, однако его поле допуска "H" назначено с положительными (в тело) отклонениями размера по 7-му качеству, что означает минимальное и максимальное отклонения размера от номинала от 0мкм до +30 мкм. Следовательно фактический диаметр отверстия лежит в диапазоне $60,000\text{мм} \leq \text{Ø}_{\text{отв}} \leq 60,030\text{мм}$. При монтаже вала в отверстие (Рис. 4.в) получаем переходную посадку $\text{Ø}60H7/k6$, дающую сопряжение в диапазоне от натяга в 21 мкм до зазора в 28 мкм и обеспечивающую хорошее центрирование, не требуя значительных усилий для сборки и разборки.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПОСАДОК ДЛЯ НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ СОЕДИНЕНИЙ

3.1. Рекомендации по выбору посадок с зазором.

Посадки с минимальным зазором S_{min} равным нулю (типа **H/h**) назначают преимущественно для пар с точным центрированием и направлением, в которых допускается проворачивание и продольное перемещение деталей при регулировке, а иногда и при работе. Эти посадки можно использовать вместо переходных. Для вращающихся деталей их применяют только при малых скоростях и нагрузках. Наиболее распространенными являются следующие сочетания полей допусков отверстия и вала для посадок этого типа: **H6/h5, H7/h6, H9/h8, H9/h9**.

Посадки **H5/g4, H6/g5, H7/g6** имеют самый наименьший гарантированный зазор из всех посадок с зазором. Они применяются для точных подвижных соединений, требующих

гарантированного, но небольшого зазора для обеспечения точного центрирования (шпиндель в опорах делительных головок, плунжерные пары и т.п.).

Из всех подвижных посадок наиболее распространены посадки **H7/f7**, **H8/f8**, **H8/f9**, которые применяются в подшипниках скольжения, в коробках скоростей, в двигателях внутреннего сгорания, при установке подшипниковых крышек в отверстия корпусов редукторов и т.п.

Посадки **H7/e8**, **H8/e8** обеспечивают легкоподвижные соединения при жидкостном трении. Их применяют в подшипниках скольжения для быстровращающихся валов больших машин, для свободно вращающихся на валах зубчатых колес и других деталей, включаемых муфтами сцепления.

Посадки, образуемые сочетанием полей допусков **H/d**, **H/c** 7-го, 8-го и 9-го квалитетов, применяют сравнительно редко, например, в соединениях деталей, работающих при повышенных рабочих температурах.

3.2. Рекомендации по выбору переходных посадок.

Переходные посадки в системе отверстия образуются сочетанием поля допуска основного отверстия **H** с полями **j – n** валов. Они предназначены для неподвижных соединений деталей, подвергающихся при ремонте или по условиям эксплуатации сборке и разборке. Взаимная неподвижность деталей обеспечивается шпонками, штифтами, нажимными винтами и т.п.

Наиболее прочные соединения дают посадки, образуемые сочетанием полей допусков типа **H/n**. Такие посадки, как **H7/n6**, **H7/n7**, **H8/n7**, применяют для соединения зубчатых колес с валами, муфт, кривошипов и других деталей при больших нагрузках, ударах, вибрациях в соединениях, разборка которых производится только при капитальных ремонтах. Возможно применение этих посадок и при небольших нагрузках в соединениях без дополнительного крепления (в приборостроении), сборка которых производится прессованием.

Посадки, образуемые сочетанием полей допусков типа **H/m**, несколько слабее предыдущих и их применяют при необходимости изредка разбирать соединение. Наиболее распространенными посадками такого типа являются посадки **H7/m6** и **H7/m7**.

Посадки, образуемые сочетанием полей допусков типа **H/k**, в среднем дают незначительные зазоры и обеспечивают хорошее центрирование, не требуя значительных усилий для сборки и разборки. Применяются чаще других переходных посадок (**H7/k6**, **H7/k7**, **H8/k7**) для посадки на вал шкивов, зубчатых колес и маховиков на шпонках и для других подобных соединениях.

Посадки, образуемые сочетанием полей допусков типа **H/j**, имеют большие средние зазоры, чем у предыдущих посадок и применяются (**H7/j6**, **H7/j7**) при необходимости облегчать сборку.

3.3. Рекомендации по выбору посадок с натягами.

Посадки с натягом в системе отверстия образуются сочетанием поля допуска основного отверстия **H** с полями допусков **p – zc** валов.

Посадки типа **H/p** (**H7/p6**, **H7/p7**, **H8/p7**) применяют при сравнительно небольших нагрузках.

Посадки типа H/r и H/s ($H7/r6$, $H7/s6$, $H8/s7$) используют в соединениях без крепежных деталей при небольших нагрузках и с крепежными деталями (шпонки, штифты) при больших нагрузках.

Посадки типа H/n ($H7/n6$, $H7/n7$, $H8/n8$) применяют в соединениях без крепежных деталей при значительных нагрузках, в том числе знакопеременных; с крепежными деталями при очень больших нагрузках; при небольших нагрузках, но малых длинах сопряжений.

Посадки типа H/z и другие применяются значительно реже и характеризуются относительно большими натягами.

3.4. Обозначение посадок в местах установки подшипников.

Посадки подшипников указывают на сборочных чертежах

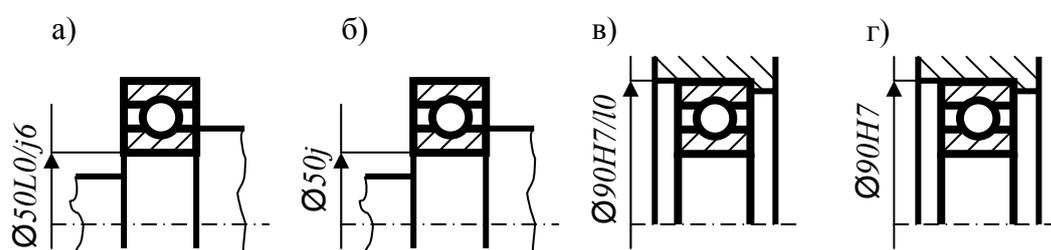


Рис. 5. Обозначение посадок подшипников на сборочных чертежах: а,б – на валу; в,г – в корпусе

На рисунке 5 показаны: (а,б) – посадка $L0/j6$ внутреннего кольца подшипника на вал в системе отверстия; (в,г) – посадка $H7/10$ наружного кольца подшипника в корпус по системе вала. Подшипник изготовлен по нулевому классу точности, соответственно, внутренний диаметр внутреннего кольца с полем допуска $L0$, а наружный диаметр наружного кольца – 10 .

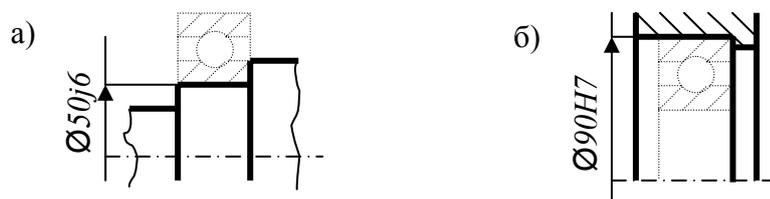


Рис. 6. Обозначение посадок мест под подшипники а – на валу; б – в отверстии корпуса

Указанные на рис 6 поля допусков показывают, что вал (а) номинального диаметра 50 мм выполнен с допуском j по 6-му качеству точности, обеспечивающему фактический диаметр вала в пределах $49,995\text{мм} \leq \varnothing_{\text{вала}} \leq 50,011\text{мм}$; отверстие (б) номинального диаметра 90 мм выполнено с допуском H по 7-му качеству, обеспечивающему фактический диаметр отверстия в пределах $90,000\text{мм} \leq \varnothing_{\text{отв}} \leq 90,035\text{мм}$.

Различают три случая нагружения колец подшипников:

а) кольцо вращается относительно радиальной нагрузки, подвергаясь так называемому циркуляционному нагружению;

б) кольцо неподвижно относительно радиальной нагрузки и подвергается местному нагружению;

в) кольцо нагружено равнодействующей радиальной нагрузкой, которая не совершает полного оборота, а колеблется на определенном участке кольца, подвергая его колебательному нагружению.

Многолетней практикой применения подшипников установлено, что соединение с валом или корпусом колец, вращающихся относительно нагрузки, должно осуществляться обязательно с натягом, исключая проворачивание и обкатывание кольцом сопряженной детали и, как следствие, развальцовку посадочных поверхностей и контактную коррозию.

Посадки неподвижных относительно нагрузки колец назначают более свободными, допускающими наличие небольшого зазора, так как обкатывание кольцами сопряженных деталей в этом случае не происходит. Нерегулярное проворачивание невращающегося кольца полезно, так как при этом изменяется положение его зоны нагружения. Кроме того, такое сопряжение облегчает осевые перемещения колец при монтаже, при регулировании зазоров в подшипниках и при температурных деформациях валов.

Подшипник является основным комплектующим изделием, не подлежащим в процессе сборки дополнительной доводке. Требуемые посадки в соединении подшипника качения получают назначением соответствующих полей допусков на диаметры вала и отверстия в корпусе.

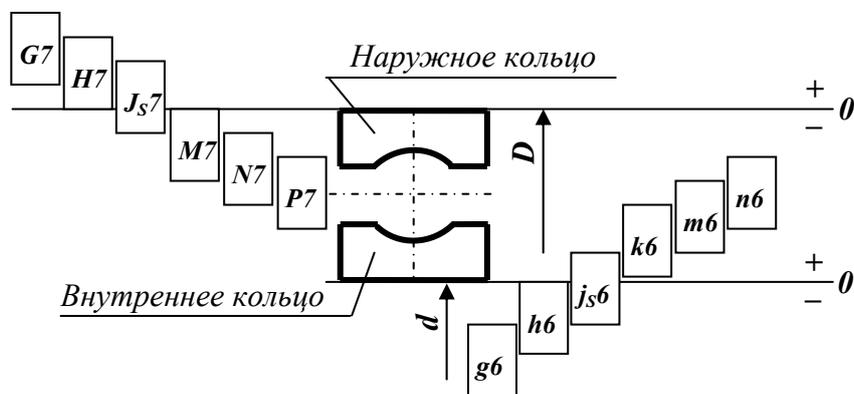


Рис. 7. Поля допусков отверстия и вала при монтаже подшипника.

Для подшипников качения принято следующее отличие от обычной в машиностроении системы допусков: поле допуска на диаметр отверстия внутреннего кольца подшипника (рис. 7) расположено не вверх от нулевой линии ("в плюс"), а вниз ("в минус"). Этим гарантируется получение натягов в соединениях внутреннего кольца с валами, имеющими поля допусков k , m и n . Поле допуска на диаметр наружного кольца располагается так же, как принято в машиностроении — "в минус" или в "тело детали". Поэтому и характер сопряжения наружного кольца с отверстием корпуса такой же, как в

общепринятой в машиностроении системе допусков. На чертеже в местах установки подшипников качения указывают поля допусков посадочных мест валов и отверстий корпусов в соответствии со стандартом СТ СЭВ 773—77.

Для наиболее распространенного в общем машиностроении случая применения подшипников класса точности 0 поля допусков вала и отверстия корпуса можно выбирать по табл. 1 и 2 (в таблицах; P_E — эквивалентная динамическая нагрузка; C_r — базовая динамическая грузоподъемность подшипника по каталогу).

Таблица 1.

Поля допусков вала в местах установки подшипников

Вид нагружения внутреннего кольца	Режим работы подшипника	Поле допуска вала при монтаже подшипников	
		шариковых	роликовых
Местное	Требуется перемещение внутреннего кольца на валу: $P_E \leq 0,07 C_r$	g6	
	Не требуется перемещение кольца на валу $0,07 C_r < P_E \leq 0,15 C_r$	h6	
Циркуляционное	Высокие требования к точности хода: $P_E \leq 0,07 C_r$	js5	k5
	$0,07 C_r < P_E \leq 0,15 C_r$	js6; k6	k6; m6
	Ударные нагрузки: $P_E > 0,15 C_r$	—	n6
Колебательное	$0,07 C_r < P_E \leq 0,15 C_r$	k6	m6
	Ударные нагрузки: $P_E > 0,15 C_r$		n6

Таблица 2.

Поля допусков отверстия в корпусе в местах установки подшипников

Вид нагружения наружного кольца	Режим работы подшипника	Поле допуска отверстия
Местное	Наружное кольцо может перемещаться в осевом направлении $0,07 C_r < P_E \leq 0,15 C_r$	H7
Циркуляционное	Наружное кольцо неподвижно в осевом направлении $0,07 C_r < P_E \leq 0,15 C_r$	N7
Колебательное	Наружное кольцо неподвижно в осевом направлении $0,07 C_r < P_E \leq 0,15 C_r$	K7
	Наружное кольцо легко перемещается в осевом направлении $P_E \leq 0,07 C_r$	H6

Пример. Выбрать поля допусков вала и отверстия для установки шарикового однорядного радиального подшипника 212. Выберем вначале поле допуска вала для установки внутреннего кольца подшипника. Внутреннее кольцо подшипника вращается вместе с валом относительно действующей радиальной нагрузки и имеет, следовательно, циркуляционное нагружение. Отношение эквивалентной динамической нагрузки к динамической грузоподъемности $P_E / C_r = 4370/41100 = 0,106$. По табл. 1 выбираем после допуска вала **js6**. Наружное кольцо подшипника неподвижно относительно радиальной нагрузки и подвергается местному нагружению. По табл. 2 выбираем поле допуска отверстия **H7**.

3.5. Пример посадки венца червячного колеса на ступицу

Рассмотрим два варианта сопряжения венца червячного колеса со ступицей.

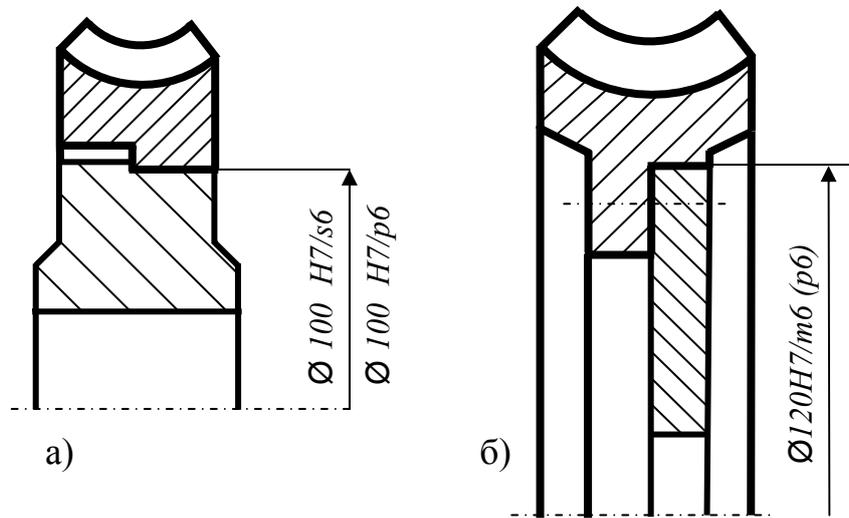


Рис. 8. Посадки венцов червячных колёс на ступицу

На рис. 8.а показано сопряжение венца со ступицей по цилиндрической поверхности в системе отверстия. Номинальный наружный диаметр ступицы 100 мм выполнен с полем допуска s по 6-му качеству и фактически лежит в диапазоне $100,071 \text{ мм} \leq \varnothing_{\text{вала}} \leq 100,093 \text{ мм}$. Номинальный внутренний диаметр венца 100 мм выполнен с полем допуска H по 7-му качеству и фактически лежит в диапазоне $100,000 \text{ мм} \leq \varnothing_{\text{отв}} \leq 100,035 \text{ мм}$. Посадка $H7/s6$, таким образом, обеспечивает натяг в диапазоне от 36 мкм до 93 мкм. Если же диаметр ступицы выполнить с полем допуска p по 6-му качеству то он фактически будет лежать в пределах $100,037 \text{ мм} \leq \varnothing_{\text{вала}} \leq 100,059 \text{ мм}$ и посадка $H7/p6$ даст меньшие натяги в диапазоне от 2 мкм до 59 мкм.

На рис. 8.б показан другой вариант сопряжения венца со ступицей по цилиндрической поверхности в системе отверстия. Здесь номинальный внутренний диаметр венца 120 мм выполнен аналогично диаметру ступицы на рис. 8.а $120,000 \text{ мм} \leq \varnothing_{\text{отв}} \leq 120,035 \text{ мм}$. Номинальный наружный диаметр диска может быть выполнен, например, с полем допуска m по 6-му качеству $120,013 \text{ мм} \leq \varnothing_{\text{вала}} \leq 120,035 \text{ мм}$ и это даст посадку $H7/m6$ в диапазоне от зазора 22 мкм до натяга 35 мкм. Если выполнить диск с полем допуска p по 6-му качеству $120,037 \text{ мм} \leq \varnothing_{\text{вала}} \leq 120,059 \text{ мм}$, то получится посадка $H7/p6$, обеспечивающая сопряжение с натягом от 2 мкм до 59 мкм. В этом случае необходимо дополнительное крепление венца и ступицы, например, болтами.

4. НОРМИРОВАНИЕ И ПРАВИЛА ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ.

Нормирование отклонений формы поверхностей регламентируют *СТ СЭВ 301 – 76*, *СТ СЭВ 636 – 77*, *СТ СЭВ 368 – 76*. Под отклонением формы поверхности (или профиля)

понимают отклонение формы реальной поверхности от формы номинальной поверхности.

Отсчет отклонений формы поверхности производится от прилегающей поверхности или от прилегающей линии. Прилегающей поверхностью может быть прилегающая плоскость и прилегающий цилиндр. Прилегающей линией может быть прилегающая прямая и прилегающая окружность. В общем случае под прилегающей поверхностью понимается поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы расстояние от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности, в пределах нормируемого участка, было минимальным.

За отклонение формы принимают наибольшее расстояние от точек действительной поверхности до прилегающей поверхности.

Различают комплексные и дифференцированные показатели отклонений формы поверхностей. Для цилиндрических поверхностей комплексным показателем отклонений формы является отклонение от цилиндричности, которое характеризует отклонения как в поперечном, так и продольном сечениях. Комплексным показателем отклонений в плоскости поперечного сечения является отклонение от круглости. Дифференцированными отклонениями будут овальность и огранка.

Комплексным показателем отклонений формы цилиндрической поверхности в продольном сечении является отклонение профиля продольного сечения. Дифференцированными показателями в этом случае будут конусообразность, бочкообразность, седлообразность, изогнутость.

Комплексным показателем отклонений формы плоских поверхностей является отклонение от плоскостности, характеризуемое совокупностью всех отклонений формы поверхности и численно равное наибольшему расстоянию Δ от действительной поверхности до прилегающей. Дифференцированными показателями отклонений формы плоских поверхностей являются вогнутость и выпуклость.

Комплексным показателем отклонений профиля сечения плоских поверхностей является отклонение от прямолинейности.

Отклонением расположения называется отклонение реального (действительного) расположения рассматриваемого элемента (поверхности, оси или плоскости симметрии) от номинального расположения. Под номинальным понимается расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми размерами между рассматриваемым элементом и базой. При оценке расположения отклонения формы рассматриваемых поверхностей и базовых элементов исключаются из рассмотрения. При этом реальные поверхности заменяются прилегающими.

К отклонениям расположения поверхностей относятся:

1. отклонение от параллельности плоскостей, прямых в плоскости, осей поверхностей вращения, оси вращения и плоскости;
2. отклонение от перпендикулярности плоскостей, осей или оси и плоскости;
3. отклонение от соосности – относительно оси базовой поверхности и относительно общей оси;
4. отклонение от пересечения осей;
5. отклонение наклона;
6. отклонение от симметричности;
7. позиционное отклонение – смещение от номинального расположения.

Кроме перечисленных отклонений формы и расположения установлены суммарные отклонения формы и расположения. К ним относятся:

1. торцовое и радиальное биение и биение в заданном направлении;
2. полное торцовое и полное радиальное биение;
3. отклонение формы заданного профиля;
4. отклонение формы заданной поверхности.

Численные значения отклонений формы и расположения регламентируются *СТ СЭВ 636 – 77*. Установлены **16** степеней точности формы и расположения. Числовые значения допусков от одной степени к другой изменяются с коэффициентом возрастания **1,6**, в зависимости от соотношения между допуском размера и допусками формы или расположения устанавливаются следующие уровни относительной геометрической точности: **A** – нормальная относительная геометрическая точность (допуск формы или расположения в среднем составляет 60% от допуска размера); **B** – повышенная относительная геометрическая точность (допуск формы или расположения составляет в среднем 40% от допуска размера); **C** – высокая относительная геометрическая точность (допуск формы или расположения в среднем составляет **25%** от допуска размера).

В общем случае выбор степени точности формы и расположения и уровней относительной геометрической точности обусловлен типом, назначением и функциональными особенностями как самого узла или машины в целом, так и рассматриваемых поверхностей в отдельности.

Для деталей большинства механизмов общего назначения, работающих с умеренными нагрузками можно рекомендовать V-VIII степени точности формы и расположения и нормальный (**A**) или повышенный (**B**) уровни относительной геометрической точности.

На чертежах допуски формы и расположения поверхностей должны обозначаться в соответствии с *СТ СЭВ 368 – 76*. знак и числовое значение допуска вписывают в рамку: на первом месте указывают условное обозначение отклонения формы или расположения, на втором – числовое значение допуска и на третьем – базу, относительно которой определяют допуск (рис. 9,а). Рамку соединяют с контурной линией изделия или с выносной линией (рис. 9,б).

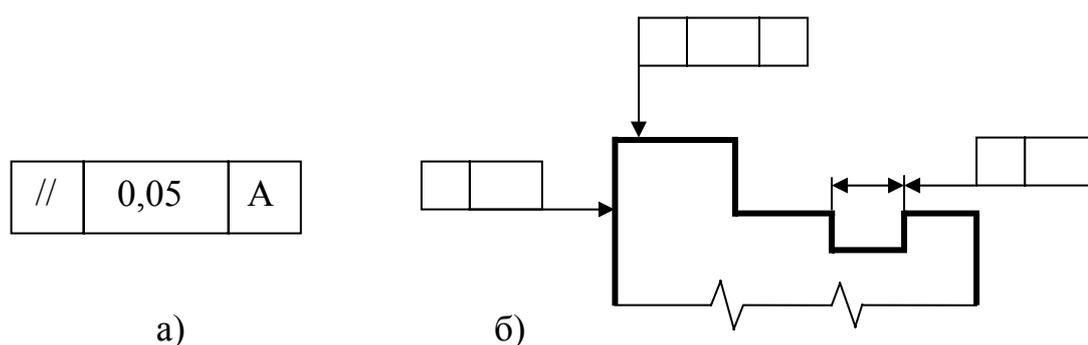


Рис. 9. Условное обозначение отклонений формы и расположения поверхностей

Базы обозначают зачерненным треугольником, который соединяют линией с рамкой допуска (рис. 10,а). Чаще базу обозначают буквой и соединяют ее с треугольником (рис. 10,б). Если базой является ось или плоскость симметрии, то треугольник распола-

гают в конце размерной линии соответствующего размера поверхности (рис. 10,в), при этом треугольник может заменить стрелку (рис. 10,г).

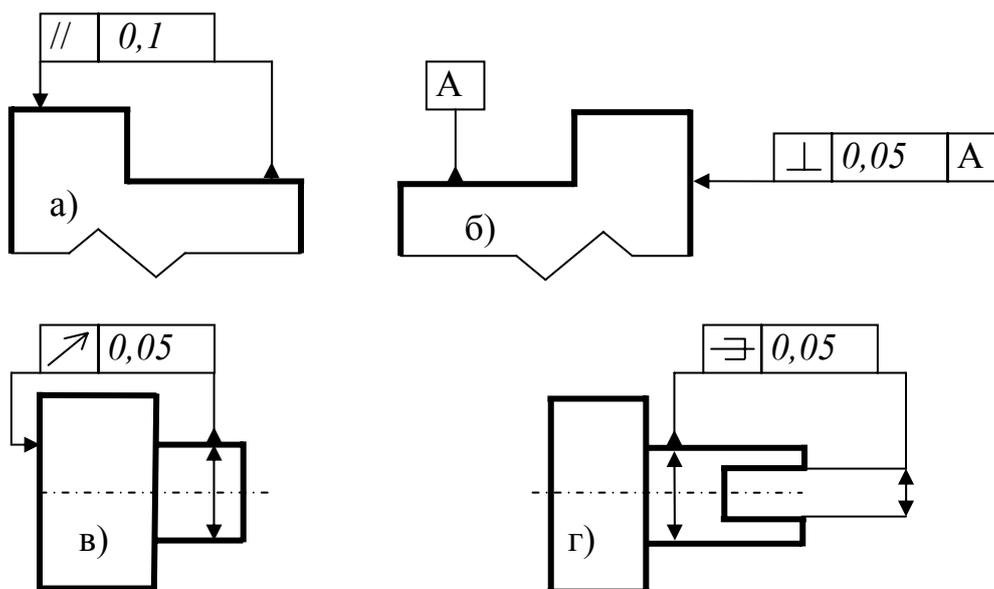


Рис. 10. Примеры обозначений отклонений расположения поверхностей на чертежах

Условные обозначения допусков формы и расположения приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Условные обозначения символов отклонений формы и расположения.

Группа допусков	Вид допуска	Условное обозначение
1	2	3
Допуски формы	Допуск прямолинейности	—
	Допуск плоскостности	▭
	Допуск круглости	○
	Допуск цилиндричности	⊘
	Допуск профиля продольного сечения	=

Допуски расположения	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск наклона	
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
	Позиционный допуск	
	Допуск пересечения осей	
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального, торцового биения и биения в заданном направлении	
	Допуск полного радиального и полного торцового биения	
	Допуск формы заданного профиля	
	Допуск формы заданной поверхности	

Конкретные численные значения допусков формы и расположения выбираются из соответствующей справочной литературы, например, в [2].

5. НОРМИРОВАНИЕ И ПРАВИЛА ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ.

Все поверхности любых деталей имеют неровности в продольном и поперечном направлениях. Эти неровности, их форма, размеры, частота повторяемости зависят от режущего инструмента, метода и режимов обработки, материала детали, жесткости оборудования, вибраций и других причин.

При оценке неровностей различают волнистость и шероховатость поверхности.

Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей профиля поверхности с относительно малыми шагами в пределах базовой длины l .

Стандартом **СТ СЭВ 638-77** предусмотрен ряд параметров для количественной оценки шероховатости, причем, отсчет производится от единой базы, за которую принята средняя линия профиля.

Количественную оценку шероховатости производят по следующим параметрам:

1. R_a – среднее арифметическое отклонение профиля, т.е. среднее значение расстояний (y_1, y_2, \dots, y_n) от точек измеренного профиля до средней линии, взятых по абсолютной величине, в пределах базовой длины (рис. 11.а)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i|$$

2. Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z – среднее значение абсолютных высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины (рис. 11.а), т.е.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}|}{5}$$

3. наибольшая высота неровностей профиля R_{max} – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины (рис. 11,а).

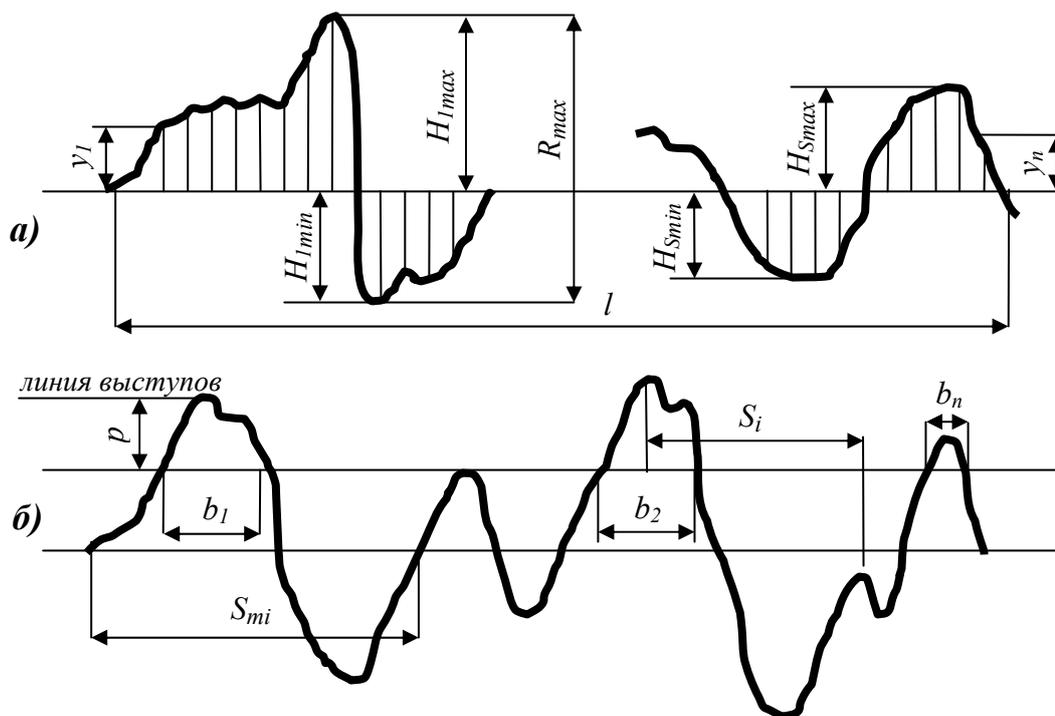


Рис. 11. Параметры шероховатости.

4. Средний шаг неровностей профиля S_m – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины (рис. 11,б), т.е.

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

5. Средний шаг неровностей профиля по вершинам – среднее значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины (рис. 11,б), т.е.

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

6. Относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля η_p к базовой длине l , т.е.

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} 100\%$$

где η_p – сумма отрезков b_i в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне p , т.е. на заданном расстоянии между линией выступов и линией, пересекающей профиль эквидистантно средней линии профиля (рис. 11,б).

Требования к шероховатости поверхности деталей нужно устанавливать исходя из функционального назначения поверхности деталей конкретных изделий и их конструктивных особенностей. Основным во всех случаях является нормирование высотных параметров. Предпочтительно, в том числе и для самых грубых поверхностей, нормировать параметр R_a , который более представительно, чем R_z или R_{max} отражает отклонения профиля, поскольку определяется по всем точкам (или достаточно большому числу точек) профиля. Для наиболее ответственных поверхностей нормирование шероховатости по высотным параметрам является недостаточным и дополняется нормированием шаговых параметров S_m и S , а также параметра t_p . Иногда дополнительно нормируется и направление неровностей.

При выборе числовых значений параметров шероховатости необходимо учитывать и возможности обеспечения заданных требований к шероховатости рациональными методами обработки. Повышение этих требований влечет за собой значительное увеличение затрат на обработку. Применение слишком высоких требований к шероховатости поверхности может оказаться не только нерентабельным, но и не допустимым, например, для подшипников скольжения.

Ниже приведены некоторые примеры назначения норм шероховатости в зависимости от функционального назначения поверхностей:

1. Посадочные поверхности сменных деталей для 7-8 квалитетов – $R_a=0.4-1.6$ мкм для валов и $R_a=0.8-3.2$ мкм для отверстий.
2. Поверхности деталей в посадках с натягом для 7-8 квалитетов – $R_a=0.8-3.2$ мкм для валов и отверстий.
3. Поверхности деталей для посадок с точным центрированием (типа H/h) – $R_a=0.05-0.8$ мкм для валов и $R_a=0.1-1.6$ мкм для отверстий. Параметры задаются в зависимости от допуска радиального биения.
4. Торцовые опорные поверхности неподвижных стыков (фланцевые соединения и др.) – $R_a=1.6-6.3$ мкм в зависимости от допуска перпендикулярности.
5. Поверхности разъема корпусов (редукторов, подшипниковых узлов и др.) – $R_a=3.2-6.3$ мкм.
6. Поверхности, прилегающие к другим поверхностям, но не являющиеся посадочными – $R_a=3.2-6.3$ мкм.
7. Посадочные поверхности под шпоночные соединения $R_a=1.6-3.2$ мкм.
8. Поверхности зубьев зубчатых и червячных передач для 6-8 степеней точности – $R_a=0.4-1.6$ мкм; для диаметров выступов $R_a=3.2-12.5$ мкм.
9. Открытые (видимые) свободные поверхности – $R_a=6.3-25$ мкм, в зависимости от размера.
10. Закрытые (невидимые при наружном осмотре) свободные поверхности $R_a=25-100$ мкм.
11. резьбовые отверстия $R_a=10$ мкм
12. отверстия под болты $R_a=20$ мкм
13. отверстия под штифты $R_a=5$ мкм

Шероховатость поверхностей обозначают на чертежах в соответствии с *ГОСТ 2.309-73*. шероховатость устанавливают для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей, независимо от методов их обработки. Структура обозначения шероховатости приведена на рис. 12.

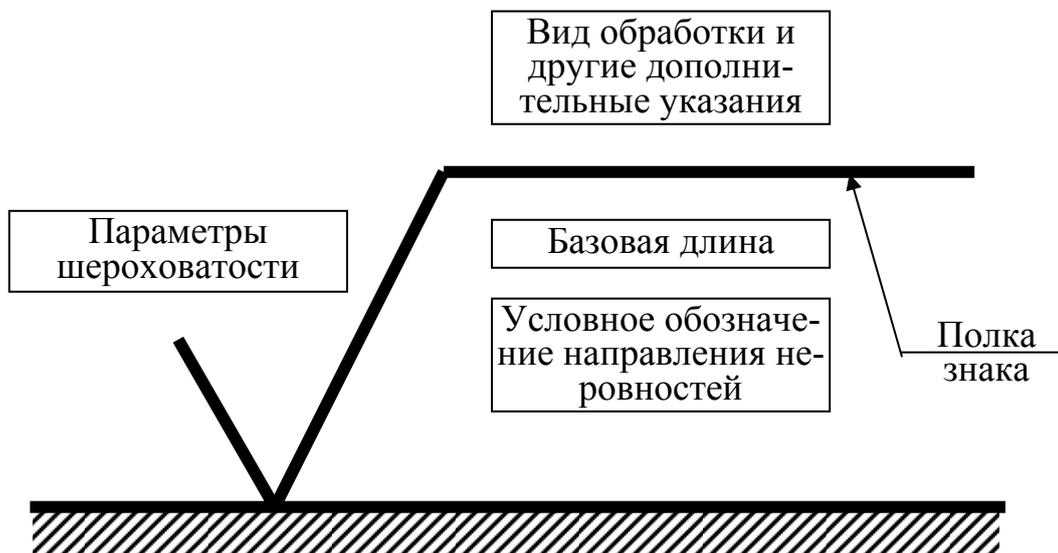


Рис. 12. Структура обозначения шероховатости

На рис. 13 показаны обозначения шероховатости для различных видов обработки. В обозначении шероховатости поверхности, вид обработки которой конструктор не устанавливает, применяют знак, указанный на рис. 13,а; этот знак является предпочтительным. В обозначении шероховатости, образуемой удалением слоя материала (точением, сверлением, травлением и т.п.), применяют знак, указанный на рис. 13,б. В обозначении шероховатости поверхности, образуемой без снятия слоя материала (литье, обработка давлением и т.п.), применяют знак, указанный на рис. 13,в.

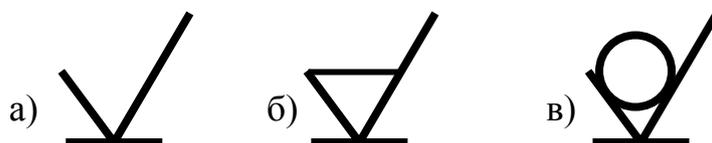


Рис. 13. Обозначение шероховатости для различных видов обработки.

На рис. 14 показаны примеры простановки параметров шероховатости. Значение параметра шероховатости R_a указывают без символа (рис. 14,а); для остальных параметров численные значения проставляются после простановки соответствующего данному параметру символа (рис. 14,б,в,г).

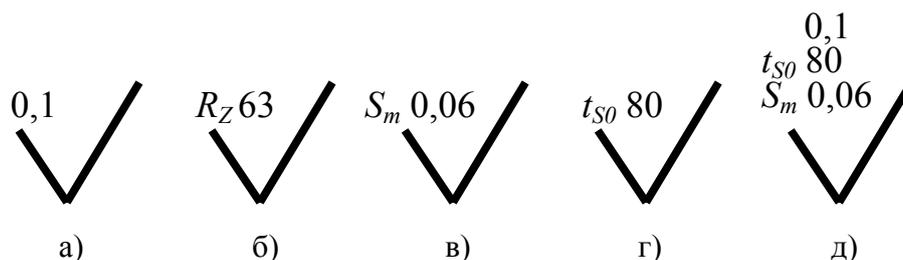


Рис. 14. Примеры простановки параметров шероховатости.

При указании двух и большего числа параметров шероховатости в обозначении их записывают сверху вниз, например, в следующей последовательности (рис. 14,д): параметр высоты R_a , параметр шага S_a , относительная опорная длина профиля t_p .

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении деталей располагают на линиях контура, выносных линиях или на полках линий выносок. Допускается при недостатке места располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, а также разрывать выносную линию (рис. 15).

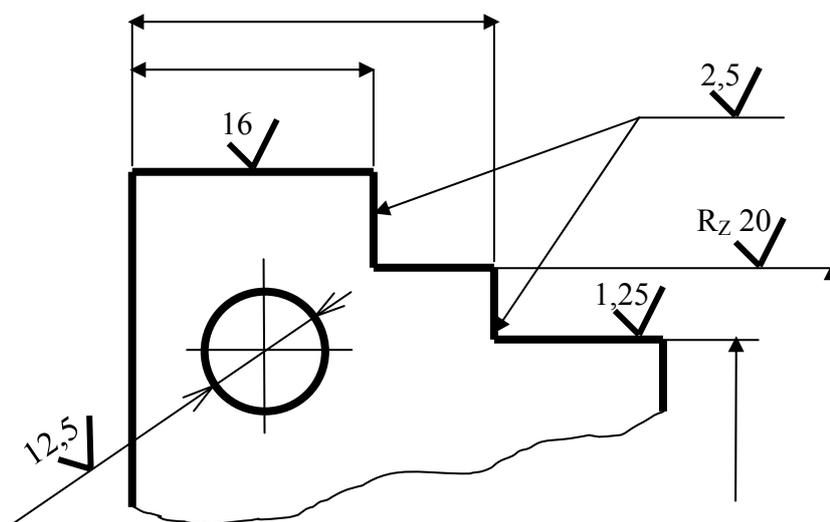


Рис. 15. Примеры обозначения шероховатости.

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис. 16,а).

При указании одинаковой шероховатости для части поверхностей детали в правом верхнем углу чертежа помещают обозначение одинаковой шероховатости и знак (\checkmark) как указано на рис. 16,б. Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости или знак \checkmark , должны иметь шероховатость, указанную перед знаком (\checkmark). Когда часть поверхностей изделия не обрабатывается по данному чертежу, в правом верхнем углу чертежа перед знаком (\checkmark) помещают знак

Если шероховатость одной и той же поверхности \checkmark различна на отдельных участках, то эти участки разграничивают на чертеже сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначений шероховатости.

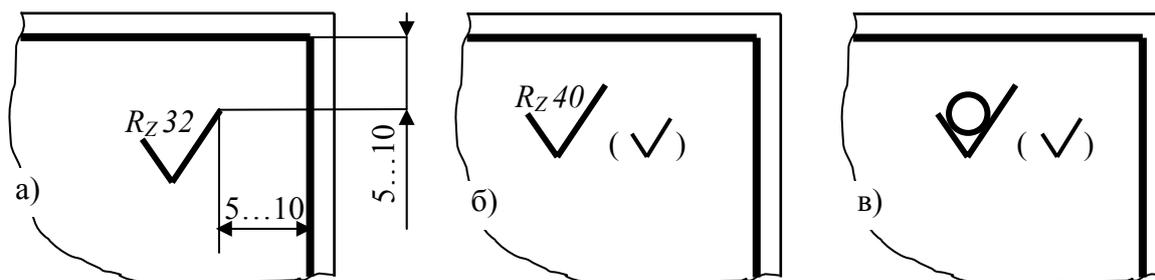


Рис. 16. Обозначение шероховатости, одинаковой для всех поверхностей или для части поверхностей детали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. А.И. Якушев. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., Машиностроение, 1979, 344 с.
2. Допуски и посадки. Справочник в 2-х частях. Под. ред В.Д. Мягкова. Л., Машиностроение, 1979, 1032 с.
3. В.И. Анурьев. Справочник конструктора-машиностроителя. Том.1, М., Машиностроение, 1978, 728 с.
4. В.В.Янковский, В.В.Фёдоров, В.М.Беляков. Выбор допусков размеров, посадок, отклонений формы, расположения и шероховатости поверхностей деталей машин. Самара, КИИТ, 1983, 28 с.