# *15.04. Подшипники.*

Валы и оси поддерживаются специальными деталями, которые являются опорами. Название "подшипник" происходит от слова "шип" (*англ.* *shaft, нем. zappen, голл. shiffen – вал*). Так раньше называли хвостовики и шейки вала, где, собственно говоря, подшипники и  устанавливаются.

***Подшипником***принято называть часть опоры, непосредственно взаимодействующей с цапфой вала или оси.

Подшипники служат опорами для валов и вращающихся осей, воспринимают радиальные и осевые  нагрузки, приложенные к валу, и передают их на корпус машины. При этом вал должен фиксироваться в определенном положении и легко вращаться вокруг заданной оси. Во избежание снижения КПД машины потери в подшипниках должны быть минимальными.

По характеру трения  подшипники разделяют на две большие группы:

- подшипники скольжения (трение скольжения);

- подшипники качения (трение качения).

## *Назначение, типы, область применения, разновидности конструкций подшипников скольжения и подпятников, материалы для их изготовления*

***Подшипником скольжения****называют опору для поддержания вала (или вращающейся оси). В таком подшипнике цапфа вращающегося вала (или оси) проскальзывает по опоре.*

В зависимости от направления воспринимаемой нагрузки подшипники скольжения различают:

– радиальные (воспринимают радиальные нагрузки);

– упорные (подпятники) – воспринимают осевые нагрузки;

– радиально-упорные – одновременно воспринимают радиальные и осевые нагрузки.

***Радиальные******подшипники скольжения***(или просто подшипники скольжения) предназначены для восприятия радиальной нагрузки. В таких подшипниках поверхности цапфы вала (или оси) и подшипника находятся в условиях относительного скольжения. При этом возникает трение, кото­рое приводит к изнашиванию пары вал (ось) — подшипник.

Подшипники скольжения применяются ограниченно и лишь в тех областях, где они сохранили свои преимущества, а именно: для  весьма  быстроходных валов, в режиме работы которых долговечность подшипников качения  очень мала; для осей и валов, требующих весьма точной установки; для валов очень большого диаметра (при отсутствии стандартных подшипников качения); когда по условиям сборки подшипник должен быть разъемным; при работе подшипника в воде, агрессивной среде для тихоходных валов  неответственных механизмов и в особых условиях.

Подшипник скольжения должны удовлетворять следующим основным требованиям:

а) конструкции и материалы должны быть такими, чтобы потери на трение и износ их и вала были  минимальными;

б) должны быть достаточно жесткими и прочными;

в) размеры их трущихся поверхностей  должны быть достаточными для  восприятия действующего на них  давления;

г) сборка, установка и обслуживание должны быть простыми.

Для уменьшения трения и нагрева, повышения КПД подшипники смазывают.

### *Конструкции подшипников скольжения*

Подшипники скольжения составляют из корпуса; вкладышей, поддерживающих вал; смазывающих и защитных устройств.

Форма рабочей поверхности подшипника скольжения так же, как и форма цапфы вала, может быть цилиндрической, плоской, конической или шаровой. Большинство радиальных подшипников может воспринимать также и небольшие осевые нагрузки (фиксируют вал в осевом направлении). Для этого вал изготавливают ступенчатым с галтелями, а кромки подшипников закругляются. Подшипники с конической поверхностью применяются редко. Их используют при небольших нагрузках в тех случаях, когда необходимо систематически устранять зазор от износа подшипника. Также редко встречаются и шаровые подшипники. Они допускают перекос оси вала, т.е. обладают свойством самоустанавливаться.

Корпус подшипника может быть отдельной, литой или сварной деталью, выполненной цельной или разъемной.

Подшипники бывают неразъемные и разъемные:

***Неразъемные подшипники***могут быть выполнены за одно целое со ста­ниной (рис. 1) или в виде втулки *1,*установленной в корпус подшипни­ка *2*(рис. 2).

В первом случае станину *1,*а во втором — втулку *1*изготовляют из ма­териалов, обладающих хорошими антифрикционными свойствами: анти­фрикционного чугуна; бронзы оловянной; латуни; баббитов; алюминиевых сплавов; порошковых материалов; текстолита; капрона; специально обра­ботанного дерева; резины (при смазывании водой); графита (в виде порош­ка, из которого прессуют вкладыши) и др.



**Рис. 1.** **Неразъемный подшип­ник скольжения:** ***1*** **— станина**



**Рис.2. Неразъемный подшипник** **скольжения:** ***1*** **— втулка;** ***2*****— корпус**

Корпуса подшипников можно изготовлять из чугуна или стали литыми или сварными. Конструкции (конфигурации) корпусов подшипников мо­гут быть самыми разнообразными (рис. 2; рис. 3).



**Рис. 3.** **Неразъемный подшипник скольжения**

Неразъемные подшипники делятся по ГОСТу на узкие (рис.3.1,а), широкие (рис.3.1,б), фланцевые (рис.3.1,в, г) и гнездовые (рис.3.1,д).



**Рис.3.1.**

***Разъемный подшипник***(рис.4) отличается от неразъемного тем, что в нем втулка заменена вкладышами *2*и*3,*корпус подшипника разъемный и состоит из собственно корпуса 7 и крышки *4,*соединенных болтами или шпильками *5.*Вкладыши применяют для того, чтобы не выполнять весь корпус подшипника из дорогого антифрикционного материала и для облегчения ремонта. Вкладыши устанавливают в корпус с натягом и предохраняются от проворачивания установочными штифтами. Износ рабочей поверхности вкладыша компенсируется поджатием крышки к верхней половине вкладыша.

Вкладыши изготовляют из антифрикционных материалов или двух металлов (тело вкладыша из стали, а рабочую часть толщиной 1-3 мм заливают баббитом или свинцовой бронзой). Во внутренней по­лости вкладышей делают канавку 1 (рис.5), в которую через отверстие *2*подводят смазочный материал.

Материал вкладышей выбирают с учетом условий работы, назначения и конструкции опор, а также стоимости и дефицитности материала и должен иметь:

1)  малый коэффициент трения и высокую сопротивляемость заеданию в периоды отсутствия режима жидкостного трения (пуски, торможение и т. п.);

2) достаточную износостойкость наряду со способностью к при­работке. Износостойкость вкладыша должна быть ниже износо­стойкости цапфы, так как замена вала обходится значительно до­роже, чем замена вкладыша;

3) достаточно высокие механические характеристики и особенно высокую сопротивляемость хрупкому разрушению при действии ударных нагрузок.

При невысоких скоростях скольжения (*v*s≤5 м/с) применяют чугуны. Чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами бла­годаря включениям свободного графита, но прирабатывается хуже, чем бронзы, имеет высокую хрупкость и высокую стоимость.

При значительных нагрузках (*р* до 15 МПа) и средних скоростях скольжения (*v*s до 10 м/c) широки используют бронзу. Бронзы оловянные, свинцовые, кремниевые, алюминиевые и прочие обладают достаточно высокими механическими харак­теристиками, но сравнительно плохо прирабатываются и способ­ствуют окислению масла.  Наилучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные бронзы.

Баббиты разных марок применяют для подшипников скольжения, работающих в тяжелых условиях; баббиты хорошо прирабатываются, стойки против заедания, мало изнашивают вал, не окисляет масло, но имеют невысокую прочность и низкую температуру плавления и поэтому их используют для заливки чугунных и бронзовых вкладышей. Лучшими являются высокооловянные баббиты Б88, Б83.

Металлокерамические вкладыши вследствие пористости пропитываются маслом и могут длительное время работать без подвода смазки. Из неметаллических материалов для вкладышей применяют текстолит, капрон, нейлон, резину, дерево и др. Неметаллические материалы устойчивы против заедания, хорошо прирабатываются, могут работать без смазки или с водяной смазкой, что имеет существенное значение для подшипников гребных винтов, пищевых машин и т.п.

В целях повышения прочности подшипников, в особенности при переменных и ударных нагрузках, применяют так называемые би­металлические вкладыши, у которых на стальную основу наплав­ляют тонкий слой антифрикционного материала — бронзы, серебpa, сплава алюминия.



**Рис. 4.** **Разъемный подшипник скольжения:** ***1*** **— станина;**

***2, 3 —*****вкладыши (полукольца);** ***4 —*****крышка; 5 — болт**



**Рис.** **5. Вкладыш:** ***1*** **— канавка;** ***2 —*****отверстие для подвода смазки**



**Рис.5.1. Конструкция вкладыша подшипника скольжения**  **а) вкладыш-втулка; б) вкладыш из двух половин с заливкой**

***Смазочные канавки***делают в верхнем вкладыше (в ненагруженной зоне подшипника), как показано на рис. 5. Для того чтобы вкладыши не имели осевых перемещений, их изготовляют с буртиками. Для удержания вкладышей от вращения вместе с валом предусматривают их закрепление с помощью штифтов и т.п. При укладке вкладышей в разъемный корпус ме­жду ними устанавливают регулировочные прокладки из тонколистовой ста­ли или латуни.

Между крышкой и корпусом подшипника имеется зазор δk<5 мм (см. рис. 4). При небольшом изнашивании вкладыша благодаря этому зазору можно компенсировать величину износа под­тягиванием болтов. Это одно из достоинств разъемного подшипника по сравнению с не­разъемным. Кроме того, к достоинствам та­кого подшипника относится возможность быстрой смены изношенного вкладыша.

***Самоустанавливающиеся подшипники скольжения***могут быть разъ­емными и неразъемными. От описанных выше они отличаются тем, что вкладыш *1*(рис. 6) имеет *шаровую опорную поверхность.*



**Рис. 6.** **Самоустанавливающийся подшипник:** ***1*** **— вкладыш**

Такая конструкция допускает небольшой угловой поворот оси вклады­ша, что положительно сказывается на работе трущейся пары вал—подшип­ник (при этом давление распределяется по всей длине цапфы почти равно­мерно).

Вкладыши самоустанавливающихся подшипников изготовляют из чугу­на или стали с последующей заливкой баббитом, свинцовой бронзой и т. п.

Существенное значение в подшипниках скольжения имеет отношение длины (*l*) подшипника  к диаметру (*d*). С увеличением (*l*) уменьшается среднее давление в подшипнике, резко возрастают кромочные давления и повышается температура.

Уменьшение длины подшипника  ниже некоторого предела приводит к усиленному вытеканию масла и к снижению несущей способности.

Оптимальное отношение *l/d*=0,6…1,0.

У коротких *l/d*=0,3…0,4; у длинных *l/d*=1,0…1,5.

В прецизионных подшипниках скольжения производят регулировку зазора. Оптимальный зазор устанавливают на заводе-изготовителе, а компенсация выработки – при ремонтах.

Разъемные подшипники регулируют, сближая вкладыши, путем уменьшения толщины прокладок между ними или снятием слоя металла с поверхности контакта крышки и корпуса

***Подпятники (опорные подшипники)****служат для поддержания вра­щающихся осей и валов при действии нагрузки, направленной вдоль оси враще­ния (т. е. при осевой нагрузке).*

Подпятники могут быть с плоской пятой (рис. 7, *а),*с кольцевой пя­той (рис. 7, б) и с гребенчатой пятой (рис. 8).

Подпятник (рис. 9) состоит из стального или чугунного корпуса 7, крышки *2*и опорного вкладыша *4.*Для возможности самоустановки опор­ный вкладыш *4*может опираться на сферическую поверхность. Опорные вкладыши изготовляют из тех же антифрикционных материалов, что и вкладыши радиальных подшипников. Деталь *3*— втулка радиального под­шипника.



**Рис. 7. Подпятники: а — с плоской пятой; б — с кольцевой пятой**



**Рис. 8.** **Подпятник с гребенчатой пятой**



**Рис. 9.** **Опора вала:** ***1*** **— корпус;** ***2 —*****крышка;**

***3*****— втулка радиального подшипника;** ***4*****— опорный вкладыш**

### *Смазывание подшипников скольжения*

***Смазыванием*** называется подведение смазочного материала в зону трения, ***смазкой***– действие смазочного материала.

***Подвод смазочного материала к подшипникам и подпятникам сколь­жения осуществляется следующими способами:***

- периодическим смазыванием (через отверстие) жидким смазочным материалом (см. рис. 1);

- смазыванием набивкой (солидол и т. д.) с помощью масленки с ша­ровым клапаном (рис. 10**,** а);

- периодической заливкой жидкого смазочного материала или набив­кой консистентного смазочного материала с помощью колпачковой масленки (рис. 10, б);

- смазыванием жидким смазочным материалом с помощью масленки с фитилем (рис. 10, *в*)*;*



**Рис. 10. Способы смазывания подшипников:** ***а —*****масленка с шаровым клапаном;**

***б—*****колпачковая** **масленка;** ***в*****— масленка с фитилем;** ***г —*****смазывание кольцом;** ***д*****— смазывание оку­нанием**

- смазыванием кольцом *1*(при специальной конструкции корпуса под­шипника (рис. 10, *г)*при этом способе нижнюю часть подшипника выполняют как резервуар для масла, в верхнем вкладыше прорезают щель, пропускающую смазочные кольца *1*(рис. 11). Масло подает­ся к поверхностям трения кольцом, увлекаемым во вращение валом;

- применение   масляной   ванны:   при   этом   способе   подпятник   7 (рис. 10, *д)*находится в масляной ванне.



**Рис. 11. Смазывание подшипника кольцом:** ***1*****— кольцо;**

***2 —*****цапфа;** ***3 —*****резервуар для масла**

Кроме указанных существует еще много других способов, в том числе принудительное смазывание под давлением, капельное, разбрызгиванием, смазыванием масляным туманом и т. д.

Смазывание подшипника по схеме, показанной на рис.11, осущест­вляется кольцом. Металлическое кольцо *1* большего, чем у цапфы вала *2,*диаметра свободно висит на цапфе вала, нижней частью погруженное в масляную ванну *3.*При вращении вала вращается и кольцо. Масло с коль­ца стекает на цапфу вала и, растекаясь вдоль него, попадает в зону трения.

### *Достоинства и недостатки подшипников скольжения*

***Достоинства подшипников скольжения:***

- сохранение   работоспособности при  высоких угловых скоростях валов (газодинамические подшипники в турбореактивных двигателях  при *n*10 000 об/мин);

- при больших скоростях вращения - при необходимости точного центрирования осей;

- выдерживание больших радиальных нагрузок;

- возможность изготовления разъемной конструкции, что допускает их применение для коленчатых валов;

- небольшие габариты в радиальном направлении, что позволяет применять в машинах очень малых и очень больших габаритах;

- сохранение работоспособности в особых условиях (в химически аг­рессивных средах, воде, при значительном загрязнении);

- бесшумность работы и обеспечение виброустойчивости вала при работе подшипника в режиме жидкостного трения (масляный слой между поверхностями цапфы и вкладыша обладает способностью гасить колебания);

- теоретически бесконечный ресурс при жидкостном трении;

- способность демпфирования;

- простота изготовления и ремонта.

***Недостатки подшипников скольжения:***

- большое изнашивание вкладышей и цапф валов из-за трения (не относится к подшипникам, работающим в режиме жидкостного трения, КПД которых > 0,99);

- необходимость применения дорогостоящих цветных сплавов (бронза, баббит) для вкладышей;

- необходимость постоянного ухода и большой расход дорогих смазочных ма­териалов, необходимость его очистки и охлаждения;

- значительные потери на трение в период пуска и при несовершенной смазке;

- большой пусковой момент;

- высокая стоимость и малая технологичность;

- значительные габариты в осевом направлении (длина вкладышей мо­жет достигать *3d,*где *d —*диаметр цапфы вала);

- не обеспечена взаимозаменяемость подшипников при ремонте, так как большинство типов подшипников не стандартизовано.

Кроме того, следует иметь в виду, что массовое производство подшип­ников скольжения не организовано.

Подшипники скольжения следует применять там, где нельзя применить подшипники качения, а именно:

а) когда подшипник должен быть разъемным по оси (например, подшипники средних шеек коленчатого вала);

б) для очень больших нагрузок, когда подходящих стандартных подшипников качения подобрать нельзя;

в) для сверхбыстроходных валов, где центробежные силы инерции не допускают применения подшипников качения;

г) для работы в сильно загрязненной среде или воде.

### *Область применения подшипников скольжения*

- Для валов с ударными и вибрационными нагрузками (двигатели внутреннего сгорания, молоты и др.).

- Для коленчатых валов, когда по условиям сборки необходимы разъемные подшипники.

- Для валов больших диаметров (диаметром более 1 м), для которых отсутствуют подшипники качения.

- Для высокоскоростных валов, когда подшипники качения непригодны вследствие малого ресурса (центрифуги и др.).

- При очень высоких требованиях к точности и равномерности вращения (шпиндели станков и др.).

- В дешевых тихоходных машинах, бытовой технике.

- При работе в воде и агрессивных средах, в которых подшипники качения непригодны;

- Опоры близко расположенных валов.

Распространенное мнение, что подшипники скольжения дешевле подшипников качения,  глубоко ошибочно.

### *Характерные дефекты и поломки подшипников скольжения*

*Характерные дефекты и поломки* подшипников скольжения вызваны трением:

- температурные дефекты (заедание и выплавление вкладыша);

- абразивный износ;

- усталостные разрушения вследствие пульсации нагрузок.

При всём многообразии и сложности конструктивных вариантов подшипниковых узлов скольжения принцип их устройства состоит в том, что между корпусом и валом устанавливается тонкостенная втулка из антифрикционного материала, как правило, бронзы или бронзовых сплавов, а для малонагруженных механизмов из пластмасс.

Большинство радиальных подшипников имеет цилиндрический вкладыш, который, однако, может воспринимать и осевые нагрузки за счёт галтелей на валу и закругления кромок вкладыша. Подшипники с коническим вкладышем применяются редко, их используют при небольших нагрузках, когда необходимо систематически устранять ("отслеживать") зазор от износа подшипника для сохранения точности механизма.

## *Подшипники качения. Общие сведения. Классификация и область применения*

*Подшипники качения, как и подшипники скольжения, предназначены для поддержания вращающихся осей и валов.*

Подшипники качения – это опоры вращающихся или качающихся деталей, использующие элементы качения  (шарики или ролики) и работающие на основе  трения качения.

Электродвигатели, подъемно-транспортные и сельскохозяйственные машины, летательные аппараты, локомотивы, вагоны, металлорежущие станки, зубчатые редукторы и многие другие механизмы и машины в на­стоящее время немыслимы без подшипников качения. В настоящее время подшипники качения являются основным  видом опор  в машиностроении. Это самые массовые стандартизованные изделия в мире. Их изготовляют на специализированных подшипниковых заводах с наружным диаметром 1,0... 2600 мм и массой 0,5 г… 3500 кг. Самый большой подшипник качения имеет наружный диаметр – 14 м, внутренний – 12 м и массу – 130 тонн. Отечественная промышленность производит свыше 15 тыс. типоразмеров подшипников с внутренними посадочными диаметрами от 0,5 мм до 2 м и более общим количеством до миллиарда штук ежегодно.

Подшипник качения имеет, как правило, более сложную конструкцию в сравнении с подшипником скольжения и, в подавляющем большинстве случаев, является готовым (то есть изготовленным на специализированном предприятии) изделием, устанавливаемым в механизм или машину без какой-либо дополнительной доработки.

Подшипники качения состоят из двух колец — внутреннего *1* и наруж­ного *3,*имеющих дорожки качения, тел качения *2*(шариков, роликов или иголок) и сепаратора *4,*разделяющего тела качения(рис. 16, *а).*Однако при необходимости снижения радиальных габаритов подшипниковых узлов одно или оба кольца подшипников, а также сепаратор могут отсутствовать. В этом случае тела качения катятся непосредственно по канавкам (дорожкам качения) вала или корпуса. В зависимости от: формы тел качения различают подшипники шариковые (рис. 16, *д, б, ж,*и) и роликовые (рис. 16, *в, г, е, з, к).*Разновидностью роликовых подшипников являются игольчатые подшипники (рис. 16, *д).*

Основными элементами подшипников качения являются тела каче­ния — шарики или ролики, установленные между кольцами и удерживае­мые сепаратором на определенном расстоянии друг от друга.

Роликовые тела качения бывают короткие *l/d*= 1…1,25,  длинные *l/d*= 2…2,5, игольчатые *l/d*= 10…20.

Внутреннее кольцо устанавливают на валу (оси), а наружное - в корпусе. Таким образом, цапфа вала и корпус разделяются телами качения. Это позволяет заменить трение скольжения трением качения и существенно снизить коэффициент трения. Основные стандартные размеры подшипника: *d*и*D* - внутренний и наружный диаметры; *В* - ширина колец.

Размеры подшипника - внутренний *d* и наружный *D* диаметры, ширина *B* (высота *H*) и радиусы *r* фасок колец - установлены ГОСТ 3478-79. Подшипники качения в диапазоне внутренних диаметров 3…10 мм стандартизованы через 1 мм, до 20 мм – через 2…3 мм, до 110 мм – через 5 мм.

Подшипниковые узлы, кроме подшипников качения, имеют корпус с крышками, устройства для крепления колец, защитные и смазочные устройства.

***Материалы подшипников качения.***

Материалы подшипников качения назначаются с учётом  высоких требований к твёрдости и износостойкости колец и тел качения. Здесь используются шарикоподшипниковые высокоуглеродистые хромистые стали ШХ15 и ШХ15СГ, а также цементируемые легированные стали 18ХГТ и 20Х2Н4А. Твёрдость колец и роликов обычно *HRC*60...65, а у шариков немного больше – *HRC*62... 66, поскольку площадка контактного давления у шарика меньше. Сепараторы изготавливают из мягких углеродистых сталей либо из антифрикционных бронз для высокоскоростных подшипников. Широко внедряются сепараторы из дюралюминия, металлокерамики, текстолита, пластмасс. Сепараторы высокоскоростных подшипников называют **массивными** и выполняют из текстолита, фторпласта, латуни, бронзы с предпочтительным центрированием их по наружному кольцу ПК.

В особых условиях хорошо зарекомендовали себя *керамические подшипники*  из нитрида кремния Si3N4 (*E* = 3,1∙105 МПа; ρ = 3,2 г/см3; *Н* =  80 HRC; *t*° до 1200°С;  α*t* в 4 раза меньше, чем у стали). Но материал очень хрупкий. Практика показала, что лучше иметь комбинированные ПК: стальные кольца и керамические тела качения.

*Для обеспечения нормальной и долговечной работы*подшипников ка­чения к качеству их изготовления и термической обработке тел качения и колец предъявляют высокие требования.

Подшипники качения в отличие от подшипников скольжения стан­дартизованы. Подшипники качения различных конструкций (диапазон на­ружных диаметров 1,0-2600 мм, масса 0,5-3,5 т, например, микроподшип­ники с шариками диаметром 0,35 мм и подшипники с шариками диаметром 203 мм) изготовляют на специализированных подшипниковых заводах.

***Классификация подшипников качения.***

Выпускаемые в СНГ подшипники качения классифицируют *по направлению воспринимаемой нагрузки, в соответствии с ГОСТ3395-75 — радиальные, радиально-упорные, упор­но-радиальные и упорные.*



**Рис. 16.** **Подшипники качения:** ***а, б, в, г, д, е*****— радиальные подшипники;** ***ж, з*****— радиально-упорные подшипники;**

***и,******к******—*****упорные подшипники;** ***1*** **— внутреннее кольцо;** ***2 —*****тело ка­чения;** ***3 —*****наружное кольцо;** ***4—*****сепаратор**

Радиальные подшипники (см. рис. 16, *а-е)*воспринимают (в основ­ном) радиальную нагрузку, т. е. нагрузку, направленную перпендикулярно к геометрической оси вала.

Упорные подшипники (см. рис. 16, и, *к)*воспринимают только осе­вую нагрузку.

Радиально-упорные (см. рис. 16, *ж, з)*и упорно-радиальные подшип­ники могут одновременно воспринимать как радиальную, так и осевую на­грузку. При этом упорно-радиальные подшипники предназначены для пре­обладающей осевой нагрузки.

*В зависимости от соотношения радиальных габаритных размеров*(рис.16.1) наружного и внутреннего диа­метров *подшипники делят на серии (7 серии,*при d – const, D – var*):*сверхлегкую, особо легкую, легкую, среднюю, тяжелую, легкую широкую, среднюю широкую. Основное распространение имеют легкие и средние узкие серии.



**Рис. 16.1. Размерные серии подшипников качения:** **а-** **особо легкая; б –легкая;**

**в – легкая широкая;** **г-** **средняя; д – средняя широкая; е -тяжелая**

*по ширине (5 серии,*при d и D – const, B(T) – var*):* особоузкие, узкие, нормальные, широкие и особо широкие.

В зависимости от серии при одном и том же внутреннем диаметре кольца подшипника наружный диаметр кольца и его ширина изменяются.

Точность подшипников качения определяется:

а) точностью основных размеров;

б) точность вращения.

Точность основных размеров определяется отклонениями размеров внутреннего и наружного диаметров и ширины кольца. Отклонения размеров диаметров определяет характер посадки.

Точность вращения характеризуется радиальным и боковым биением дорожки качения. В РФ подшипники качения выпускаются следующих классов в порядке возрастания точности:

По классам точности подшипники различают следующим образом (по ГОСТ 520-89):

"0" – нормального класса (радиальное биение внутреннего кольца 20 мкм);

"6" – повышенной точности (радиальное биение внутреннего кольца 10 мкм);

"5" – высокой точности (радиальное биение внутреннего кольца 5 мкм);

"4" – особовысокой точности (радиальное биение внутреннего кольца 3 мкм);

"2" – сверхвысокой точности (радиальное биение внутреннего кольца 2,5 мкм);

8 и 7 – грубые ниже 0;

6Х – только *для роликовых конических* подшипников.

При выборе класса точности подшипника необходимо помнить о том, что "чем точнее, тем дороже". Для иллюстрации соотношения точности подшипников разных классов и их стоимости ниже приведены максимальные величины радиальных биений внутренних колец подшипников с посадочными диаметрами 50…80 мм и относительная стоимость подшипников.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс точности | 0 | 6 | 5 | 4 | 2 |
| Биение, мкм | 20 | 10 | 5 | 4 | 2,5 |
| Относительная стоимость | 1 | 1,3 | 2 | 4 | 10 |

В связи с тем, что при повышении точности изготовления подшипников резко возрастает их стоимость, для большинства редукторов общего назначения применяют подшипники 0 класса точности.

Подшипники более высоких классов точности назначают для валов, требующих особой точности вращения (шпинделей металлорежущих станков, валов и осей приборов и т.п.), или при наличии жестких требований к уровню их шума.

*По   форме  тел   качения   подшипники   делят   на   шариковые*(см. рис. 16, *а, б, ж, и), с цилиндрическими роликами*(см. рис. 16, *в), с кониче­скими роликами*(см. рис. 16, з, *к), игольчатые*(см. рис. 16, *д), с витыми роликами*(см. рис. 16, *е), с бочкообразными роликами*(сферическими) (см. рис.  16, *г).*Тела качения игольчатых подшипников тонкие ролики — иглы диаметром 1,6—5 мм. Длина игл в 5—10 раз больше их диаметра. Се­параторы в игольчатых подшипниках отсутствуют.

*По числу рядов тел качения различают однорядные*(см. рис. 16, *а, в, д—к) (имеющие основное применение),* *двухрядные*(см. рис. 16, *б, г), четырехрядные, многорядные*подшипники качения.

По конструктивным и эксплуатационным признакам *подшипники делят на самоустанавливающиеся (тип  1000 – шариковые;  тип 3000 – роликовые)*(см. рис. 16, *б, г)*),  допускающие  перекос  валов  на опорах до 2-3°, и *несамоустанавливающиеся (все шарико- и роликоподшипники, кроме сферических) (см. рис. 16, а, в, д—к).*

По способу изготовления сепараторов различают подшипники со штампованными и литыми сепараторами.

По конструктивным особенностям (с контактным уплотнением, с защитной шайбой, с фланцем на наружном кольце и т.д.).

В зависимости от требований по уровню вибрации, шума и других дополнительных требований установлено **три категории** ПК: A (самая высокая), B и C. Также введены дополнительные ряды радиальных зазоров и ряды моментов трения.

### *Обозначение подшипников качения*

Под типом подшипника понимают его конструктивную разновидность, определяемую по признакам классификации.

*Каждый подшипник качения имеет условное клеймо, обозначающее тип, размер, класс точности, завод-изготовитель.*

На неразъемные подшипники клеймо наносят на одно из колец, на разборные — на оба кольца, например, на радиальный подшипник с ко­роткими цилиндрическими роликами (см. рис. 16, *в),*где наружное коль­цо без бортов и свободно снимается, а внутреннее кольцо с бортами со­ставляет комплект с сепаратором и роликами.

На один и тот же диаметр шейки вала предусматривается несколько серий подшипников, которые отличаются размерами колец и тел качения и соответственно величиной воспринимаемых нагрузок.

В пределах каждой серии подшипники равных типов взаимозаменяемы в мировом масштабе. В стандартах   указываются: номер подшипника, размеры, вес, предельное число оборотов, статическая нагрузка и коэффициент работоспособности.

Подшипники имеют *условные обозначения*, составленные из цифр и букв (ГОСТ 3189-89). Условные обозначения разделяют на *основное и дополнительное*.

*Основное условное обозначение* подшипника характеризует его размер внутреннего диаметра, серию, тип и конструктивные разновидности. Очерёдность знаков в основном обозначении - справа налево.

***Первая и вторая цифры***справа условно обозначают *его номинальный внутренний диаметр d*(диаметр вала). Для определения истинного размера *d*(в миллиметрах) необходимо указанные две цифры умножить на пять. Например, подшипник ...04 имеет внутренний диаметр 04∙5 = 20 мм. Это правило распространяется на подшипники с цифрами ...04 и выше, до ...99, т. е. для подшипников с внутренним посадочным диаметром 20≤d<500 мм. Подшипники с цифрами... 00 имеют *d-*10 мм; ...01 *d=*12 мм; ...02 *d=*15 мм; ...03 *d=*17 мм.

***Третья цифра****справа обозначает серию подшипника,*определяя его на­ружный диаметр *D*: сверхлегкая (цифры обозначения 8; 9), особолегкая (1; 7), легкая (2 или 5), средняя (3 или 6) и тяжелая (4), а по ширине *B* - особоузкая (8), узкая (0; 7), нормальная (1), широкая (2), особоширокая (3; 4; 5; 6). На практике наибольшее распространение имеют подшипники легкой и средней серий. На рис. 16.2 приведены сравнительные параметры подшипников некоторых типов и серий для номинального внутреннего диаметра *d* = 80 мм.



**Рис.16.2. Сравнительные параметры подшипников различных типов и серий при внутреннем диаметре** ***d*=80 мм:**

**1–масса** ***m*; 2–динамическая грузоподъемность** ***Сr*;3–предельная частота вращения** ***n***

***Четвертая цифра****справа обозначает тип подшипника.*Если эта цифра 0, то это означает, что подшипник радиальный шариковый одно­рядный; шариковый однорядный (если левее 0 нет цифр, то 0 не указыва­ют); 0 – радиальный шариковый; 1 — радиальный шариковый двухрядный сферический; 2 — радиаль­ный с короткими цилиндрическими роликами; 3 — радиальный роликовый двухрядный сферический; 4 — игольчатый или роликовый с длинными ци­линдрическими роликами; 5 — радиальный с витыми роликами; 6 — радиально-упорный шариковый; 7 — роликовый конический (радиально-упорный); 8 — упорный шариковый; 9 — упорный роликовый.

Так, например, подшипник 7208 является роликовым коническим.

***Пятая и шестая цифры****справа характеризуют конструктивные особен­ности подшипника,*так называемое «исполнение» подшипника, не влияющие на основные характеристики (ГОСТ 3395-89) (неразборный, с защитной шайбой, с закрепительной втулкой, величину угла контакта α, наличие стопорной канавки на наружном кольце, наличие уплотнений с заложенной смазкой, наличие канавки на наружном кольце шарикоподшипника, предназначенной для стопорного пружинного кольца, на наличие встроенных уп­лотнений и т.п.).

Например:

50312 — радиальный однорядный шарикоподшипник средней серии со стопорной канавкой на наружном кольце;

150312 — тот же подшипник с защитной шайбой;

36312 — радиально-упорный шариковый однорядный подшипник сред­ней серии, неразборный.

60 205 – подшипник шариковый (0 – четвертая цифра) радиальный однорядный с одной защитной  шайбой (6) – пятая цифра. Внутренний диаметр *d* = 05×5 = 25 *мм*. Цифры 6, 5, 4, 2, которые ставятся перед обозначением через тире (5-60205) обозначающий класс точности. Нормальный класс точности обозначается цифрой «0», которая не указывается.

***Седьмая цифра****справа характеризует серию подшипника по ширине.*

ГОСТом установлены следующие классы точности подшипников каче­ния: 0 — нормальный класс (как правило, 0 в обозначении не указывают); 6 — повышенный; 5 — высокий, 4 — особо высокий, 2 — сверхвысокий. Цифру, обозначающую класс точности, ставят слева от условного обозна­чения подшипника и отделяют от него знаком тире; например, 206 означа­ет шариковый радиальный подшипник легкой серии с номинальным диа­метром 30 мм, класса точности 0.

Кроме цифр основного обозначения слева и справа от него могут ***дополнительные***буквенные или цифровые знаки, характеризующие специальные условия изготовления данного подшипника.

***Дополнительное условное*** обозначение проставляют слева и справа от основного условного обозначения. Так, класс точности маркируют цифрой слева через тире от основного обозначения. В порядке повышения точности классы точности обозначают: 0, 6, 5, 4, 2. Класс точности, обозначаемой цифрой 0 и соответствующей нормальной точности, не проставляют, так как это позволяет сократить обозначения для часто употребляемых подшипников. В общим машиностроение применяют подшипники классов 0  и 6. В изделиях высокой точности или работающей высокой частотой вращения (шпиндельные узлы скоростных станков, высокооборотный электродвигатели и др.) применяют подшипники класса 5 и 4. подшипники класса точности 2 используют в гироскопических приборах. Помимо приведенных выше имеются и дополнительные (более высокие и более низкие) классы точности.

Так, например, подшипник 7208 — класса точности 0.

Диаметральный зазор подшипника обозначают номером ряда и указывают перед классом точности подшипника.

Дополнительное обозначение справа от основного характеризует повышенную грузоподъёмность, изменения металла колец и сепаратора, температуру отпуска деталей, марку смазки в подшипниках закрытого типа и другие специальные технические требования (ГОСТ 590-89) и помещают (слитно с основной частью) буквенно-цифровую маркировку. Например, у подшипников закрытого типа, заполненных смазочным материалом, отличным от ЦИАТИМ-201, справа помещают следующее дополнительное обозначение: С2 – если применяется ЦИАТИМ-221; С5 – ЦИАТИМ 202; С17 – Литол-24.

Более подробно расшифровка символов маркировки подшипников приводится, например, в каталоге подшипников НИИАВТОПРОМа.

Пример обозначения: *3-5-180109-С17* – подшипник шариковый радиальный однорядный с *d* = 45 мм, где 09 - внутренний диаметр; 1 - серия диаметра *D*;  0 - тип подшипника; 18 - конструктивная разновидность; 3 - номер ряда диаметрального (радиального) зазора; 5 - класс точности; С17 - пластичный смазочный материал ЛИТОЛ-24.

В зависимости от наличия дополнительных требований к уровню вибраций, отклонениям формы и расположения поверхностей качения, моменту трения и др. установлены три категории подшипников: А — повышенные регламентированные нормы; В — регламентированные нормы; С — без дополнительных требований.

Возможные знаки справа от основного обозначения:

все или часть деталей из коррозионно-стойкой стали — Ю;

детали подшипников из теплостойких сталей — Р;

сепаратор из черных металлов — Г;

сепаратор из пластических материалов — Е;

специальные требования к подшипнику по шуму — Ш;

подшипник закрытого типа при заполнении сма­зочным материалом ЦИАТИМ-221 – С1.

температура отпуска колец – Т (при t=200°С); Т1 (при t=255°С) и т.д.

**Примеры обозначений подшипников:**

305 – подшипник с внутренним посадочным диаметром d=25 мм, средней серии, радиальный шариковый однорядный, без конструктивных особенностей, нулевого класса точности, с диаметральным зазором по основному ряду, из обычных подшипниковых сталей, без специальных требований;

311 — подшипник шариковый радиальный однорядный, средней серии диаметров 3, серии ширин 0, с внутренним диаметром *d* = 55 мм, основной конструкции (см. рис. 14.5, а), класса точности 0;

67210 – подшипник с внутренним посадочным диаметром d=50 мм, легкой серии, радиально-упорный роликовый однорядный с наружным кольцом, имеющим упорный борт, нулевого класса точности, с диаметральным зазором по основному ряду, из обычных подшипниковых сталей, без специальных требований;

6-206 — подшипник шариковый радиальный однорядный, внут­ренний диаметр *d*= 30 мм (06 х 5): легкой серии: класс точ­ности — 6:

2311 — подшипник роликовый радиальный с короткими ци­линдрическими роликами: внутренний диаметр *d =*55 мм (11 х 5); средней узкой серии; класс точности — 0.

6-36209 — подшипник шариковый радиально-упорный однорядный, легкой серии диаметров 2, серии ширин 0, с внутренним диаметром *d* = 45 мм, с углом контакта *а* = 12°, класса точности 6;

4-12210 — подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами, легкой серии диаметров 2, серии ширин 0, с внутренним диаметром *d* = 50 мм, с одним бортом на наружном кольце (см. рис. 14.9, б), класса точности 4;

4-3003124Р — подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный особолегкой серии диаметров 1, серии ширин 3, с внутренним диаметром *d*=120 мм, основной конструкции (см. рис. 14.8), класса точности 4, детали подшипника изготовлены из теплостойких сталей;

3-0-180209С17 – подшипник с внутренним посадочным диаметром d=45 мм, легкой серии, радиальный шариковый однорядный, со встроенными двухсторонними уплотнениями, заполненный смазочным материалом Литол-24, из обычных подшипниковых сталей, без специальных требований, нулевого класса точности, с диаметральным зазором по 3-у дополнительному ряду.

6-7310А: радиально-упорный роликовый конический (7) повышенной грузоподъемности (А) средней узкой серии (3) диаметром d = 50мм (10) 6-го класса точности;

А75-180208С17Ш2: радиальный шариковый (0) однорядный с двусторонним уплотнением (18) и постоянной смазкой “Литол-24” (С17) со специальными требованиями по шуму (Ш2) легкой узкой серии (2) диаметром d = 40 мм (08), 5-го класса точности категории А с радиальным зазором по 7-му ряду.

### *Характеристики подшипников качения*

Наибольшее распространение получили ***шариковые радиальные одноряд­ные подшипники***(см. рис. 16, *а). Шариковый однорядный радиальный* (тип 0000) является базовым для сравнения с ним других типов; это наиболее быстроходный и дешевый подшипник, но с меньшей грузоподъемностью. Эти подшипники допускают сравнительно большую угловую скорость, особенно с сепараторами из цветных металлов или из пластмасс, допускают небольшие перекосы вала (от 15' до 30') и могут воспринимать незначительные осевые нагрузки. Допустимая осевая нагрузка для радиальных несамоустанавливающихся подшипников не должна превы­шать 70% от неиспользованной радиальной грузоподъемности подшипника. По сравнению с под­шипниками других типов имеют минимальные потери на тре­ние; фиксируют положение вала относительно корпуса в двух осевых направлениях. Радиальные однорядные шарикоподшипники с двумя защит­ными шайбами заполняются на заводе-изготовителе пластичным смазочным материалом и в допол­нительном смазывании не нуждаются.

***Роликовые радиальные***подшипники с короткими роликами (см. рис. 16, *в)*(типы  2000,  32000, 52000 – без бортов на том или ином кольце) по сравнению с аналогичными по габаритным размерам шари­коподшипниками обладают увеличенной грузоподъемностью, хорошо вы­держивают ударные нагрузки. Однако они совершенно не воспринимают осевых нагрузок и не допускают перекоса вала (ролики начинают работать кромками, и подшипники быстро выходят из строя). Нагрузочная способность таких подшипников по сравнению с однорядными шариковыми больше примерно в 1,5 раза, а долговечность в 3,5 раза. Конструктивные разновидности этих подшипников зависят от наличия и расположения бортов на наружных и внутрен­них кольцах. Подшипники без бортов на наружном или внутрен­них кольцах дают возможность валу перемешаться относитель­но корпуса в осевом направлении (также подшипники широко используются как плавающие опоры).

***Роликовые радиальные подшипники с витыми роликами***(см. рис. 16, *е)*применяют при радиальных нагрузках ударного действия; удары смягчают­ся податливостью витых роликов. Эти подшипники менее требовательны к точности сборки и к защите от загрязнений, имеют незначительные ради­альные габаритные размеры.

***Игольчатые подшипники***(см. рис. 16, *д)* (тип 4000) отличаются малыми радиаль­ными габаритными размерами, находят применение в тихоходных (до 5 м/с) и тяжелонагруженных узлах, так как выдерживают большие ради­альные нагрузки. В настоящее время их широко используют для замены подшипников скольжения. Эти подшипники воспринимают только радиальные нагрузки и не допускают перекоса валов. Для максимального уменьшения размеров применяют подшипники в виде комплекта игл, не­посредственно опирающихся на вал, с одним наружным кольцом.

***Самоустанавливающиеся радиальные двухрядные сферические***шариковые (рис. 16, *б)*и роликовые (см. рис. 16, *г)*подшипники применяют в тех слу­чаях, когда перекос колец подшипников может составлять до 2—3°. Эти под­шипники допускают незначительную осевую нагрузку (порядка 20% от не­использованной радиальной) и осевую фиксацию вала. Подшипники имеют высокие эксплуатационные показатели, но они дороже, чем однорядные.

***Конические роликоподшипники***(см. рис. 16, *з)*находят примене­ние в узлах, где действуют одновременно радиальные и односторонние осевые нагрузки. Эти подшипники могут воспринимать также и ударные нагрузки. Радиальная грузоподъемность их в среднем почти в 2 раза выше, чем у радиальных однорядных шарикоподшипников. При чисто радиальной нагрузке в подшипнике возникает осевая состав­ляющая, которую компенсируют осевой нагрузкой противо­положного направления: поэтому для фиксации вала в обе стороны подшипники устанавливают попарно. Подшипники допускают регулирование осевой игры и радиального зазора; перекос вала относительно оси конуса недопустим. Их рекомендуется ус­танавливать при средних и низких угловых скоростях вала (до 15 м/с).

*Аналогичное использование имеют****радиально-упорные шарикоподшипники***(см. рис. 16, *ж),*применяемые при средних и высоких угловых скоростях. Радиальная грузоподъемность у этих подшипников на 30—40% больше, чем у радиальных однорядных. Их выполняют разъемными со съемным на­ружным кольцом и неразъемными.

***Шариковые и роликовые упорные подшипники***(см. рис. 16, *и. к)*предназначены для восприятия односторонних осевых нагрузок. Применя­ются при сравнительно невысоких угловых скоростях, главным образом на вертикальных валах. Упорные подшипники радиальную нагрузку не вос­принимают. При необходимости установки упорных подшипников в узлах, где действуют не только осевые, но и радиальные нагрузки, следует допол­нительно устанавливать радиальные подшипники. Подшипники очень чувствительны к несоосности и перекосам осей; их не следует устанавливать в опорах горизонтальных валов, имеющих высокие частоты вращения, так как под действием центробежных сил шарики могут выйти из беговых доро­жек, при этом возрастает сила трения, увеличивается нагрев.

В некоторых конструкциях, где приходится бороться за уменьшение радиальных габаритов, применяются т.н. "бескольцевые" подшипники, когда тела качения установлены непосредственно между валом и корпусом. Однако нетрудно догадаться, что такие конструкции требуют сложной, индивидуальной, а, следовательно, и дорогой сборки-разборки.

### *Достоинства и недостатки подшипников качения*

***Достоинства подшипников качения:***

*-*низкое трение, низкий нагрев;

- значительно (5…10 раз) меньшие пусковые моменты;

- высокий КПД (до 0,995);

- экономия смазки;

- высокий уровень стандартизации;

- небольшие габариты в осевом направлении;

- невысокая стоимость вследствие массового производства;

- менее жесткие требования к материалу, термообработке и качеству поверхностей валов и посадочных отверстий корпусов, а также по уходу за подшипниковыми узлами в процессе эксплуатации машин;

- высокая степень взаимозаменяемости;

- экономия дорогих антифрикционных материалов и цветных металлов.

***Недостатки подшипников качения:***

*-* высокие контактные напряжения, и поэтому ограниченный срок службы;

*-*большие радиальные габариты и вес;

- высокие требования к оптимизации выбора типоразмера;

- малая надежность в высокоскоростных приводах;

- большая чувствительность  к ударным нагрузкам вследствие большой жесткости конструкции;

- повышенный шум при больших оборотах;

- ненадежность при работе в агрессивных средах (например, в воде);

- слабая виброзащита, более того, подшипники сами являются генераторами вибрации за счёт даже очень малой неизбежной разноразмерности тел качения;

- ограничение срока службы, особенно  при больших скоростях и нагрузках. Это вызвано возникновением высоких контактных напряжений, вызывающих усталостное выкрашивание колец и тел качения;

- большое рассеивание сроков службы в каждой партии подшипников  при одинаковых нагрузках и скоростях;

- нерентабельность мелкосерийного и штучного производства;

- высокая жесткость, то есть неспособность воспринимать ударные нагрузки;

- меньшая способность гасить колебания.

### *Сравнительная характеристика подшипников качения и скольжения*

*При проектировании узла вал—подшипник перед конструктором стоит задача выбора типа опоры скольжения или качения.*При возможности обеспечения жидкостного режима смазывания в узле можно рекомендовать опоры с подшипниками скольжения, имеющими следующие преимущества по сравнению с подшипниками качения: простота конструкции и компо­новки;   незначительные  габаритные  размеры;  способность  выдерживать большие радиальные и ударные нагрузки; возможность ремонта и низкая стоимость подшипника скольжения, особенно при больших диаметрах; значительно меньшие потери на трение в пусковые моменты; большая надежность против заедания и пожарная безопасность; возможность безаварийной работы при кратковременных перебоях с подачей смазки. Увеличение угловой скорости вала, имеющего подшипники качения, резко снижает их долговечность. Вследствие малой площади поверхности рабо­чих элементов подшипников качения эти опоры называются более жестки­ми, что является одной из причин шума, а иногда и вибрации узла, осо­бенно при больших угловых скоростях.

*Кольца подшипников качения*— *цельные*(неразъемные). Это делает их *непри­годными*в некоторых случаях, например, *для установки на коленчатые валы.*

Заменить подшипники скольжения *1*, *2*(рис. 17) на подшипники качения нельзя. Кольца подшипников качения — цельные (неразъемные). Это делает их непригодными для монтажа в некоторых случаях, например, на шатунных и коренных (промежуточных) шейках неразборных коленчатых валов и др



**Рис.** **17. Установка подшипни­ков на коленчатом валу**

Замена подшипника скольжения *3*на игольчатый подшипник принципиально воз­можна. Игольчатый подшипник имеет мень­ший наружный диаметр, чем шариковые и роликовые подшипники, и выдерживает большие ударные нагрузки. При установке пальца шатуна *4*с высокой поверхностной прочностью можно использо­вать игольчатый подшипник без внутренней обоймы. Это позволит умень­шить габаритные размеры подшипникового узла.

По сравнению с подшипниками качения подшипники скольжения тре­буют повышенного расхода смазочного материала, который должен посту­пать непрерывно, так как иначе происходит быстрый нагрев и заклинива­ние подшипникового узла.

*Подшипники качения по сравнению с подшипниками скольжения*требуют, как правило, меньшего расхода энергии, удобнее в эксплуатации, не требуют постоянного ухода (смазывание их производится периодиче­ски), имеют незначительный рабочий радиальный зазор, большая несущая способность на единицу ширины подшипника; значительно меньший расход цветных материалов; более высокая точность и меньшая стоимость вследствие стандартизации и централизованного массового производства; большая надежность против заедания и пожарная безопасность (устранение горения букс вагонов при переходе на роликоподшипники).

Вследствие незна­чительной ширины колец подшипников качения достигается компактность узла, что важно при стесненных габаритных размерах в осевом направле­нии. По этим и многим другим причинам подшипники качения имеют са­мое широкое применение в современном машиностроении, и в большин­стве случаев они вытеснили подшипники скольжения.

### *Вопросы для самопроверки*

- Каков круг задач, решаемых конструктором при создании узлов трения?

- Из каких соображений выбирается тип подшипника?

- Назовите три общих правила выбора материалов подшипников скольжения.

- Какие различают типы подшипников скольжения по конструкции?

- Каковы достоинства и недостатки подшипников скольжения и в каких областях машиностроения их применяют?

- В чем состоят преимущества и недостатки подшипников скольжения и качения по сравнению друг с другом?