**Занятие № 101-102**

**Тема: Подшипники качения.**

**Задание:**

1- Из каких соображений выбирается тип подшипника?

2- Какие различают типы подшипников скольжения по конструкции?

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

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

5- Какова роль смазки в подшипниках скольжения?

6- Устройство подшипников качения.

7- Характеристика типов подшипников.

8- Что такое жидкостное и полужидкостное трение в подшипниках скольжения?

**Основной материал:**

# *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.

***Сравнительная характеристика смазочных устройств.***

Наиболее простой способ смазывания — периодическая заливка сма­зочного материала через отверстие *1* (см. рис. 1). Недостаток этого спо­соба — возможность попадания абразивных частиц в зону смазывания.

Смазывание с помощью масленки с шаровым клапаном или колпачковой масленкой (рис. 10, *а, б)*также требует наблюдения. Этого недостат­ка не имеет фитильный способ (рис. 10, *в).*Недостатком этого способа подвода смазочного материала является то, что масло подается к цапфе вала и тогда, когда вал не вращается (отсюда — повышенный расход сма­зочного материала). Кольцевой способ смазывания (рис. 10, *г) —*наибо­лее оптимальный, но при этом усложняется конструкция корпуса подшип­ника. Подшипники в масляной ванне (рис. 10, *д*— подпятник) также требуют усложнения конструкции корпуса подшипника (необходимость создания хорошего уплотнения вала).

***Смазочные материалы.***

Для уменьшения трения и изнашивания, охлаждения и очистки от продуктов износа подшипники скольжения смазывают смазочными материалами, которые должны быть маслянистыми и вязкими.

Маслянистость характеризует способность смазочного материала образовывать на поверхности трения устойчивые тонкие пленки, предотвращающие непосредственный контакт поверхностей.

Вязкость характеризует объемное свойство смазочного материала оказывать сопротивление относительному перемещению его слоев.

Смазочные материалы могут быть: жидкие (масла), пластичные (мази), твердые (порошки, покрытия) и газообразные (газы).

Масла являются основным смазочным материалом. Имеют низкий коэффициент внутреннего трения, хорошо очищают и охлаждают рабочие поверхности, их легко подводить к местам смазывания, но требуются уплотняющие устройства в местах смазывания от вытекания масла.

Масла бывают минеральные и органические.

Минеральные масла — продукты перегонки нефти — наиболее часто применяют для подшипников скольжения. К ним относят масла индустриальные (И-Л-А-22, И-Г-А-46), моторные и др.

Органические масла — растительные (льняное и др.) и животные (костное и др.) — обладают высокими смазывающими свойствами, но дороги и дефицитны. Их применяют редко.

В настоящее время для смазки машин применяются в основном лишь минеральные масла - продукты перегонки нефти. Из растительных может применяться только касторовое масло, обладающее очень высокими смазывающими свойствами; другие растительные масла окисляются и для смазки не годятся.

Желательно применять, по возможности, жидкие масла со смазкой окунанием в масляную ванну. При весьма высоких угловых скоростях вращения деталей (свыше 5000 об/мин) применяют подачу жидкой смазки форсунками под давлением, так как при таких скоростях начинают сильно возрастать гидравлические потери на взбалтывание масла. Консистентную смазку применяют в отдельных точках, где нельзя организовать масляную ванну. Количество точек смазки в машинах должно бить минимальным,  иначе усложняется их   техническое обслуживание. Твердые смазки содержат графит и применяются при очень больших давлениях и малых скоростях относительного перемещения смазываемых деталей, например, для смазки листовых рессор.

Вязкость является важнейшим свойством масел. Различают абсолютную или динамическую вязкость, которая выражает сопротивле­ние сдвигу молекулярных слоев жидкости и относительную или кинематическую вязкость, которая характеризуется временем истечения жидкости через калиброванное отверстие при опре­деленной температуре (50 или 100°С).

μ=γv

где γ - удельный вес масла, который можно принимать равным 0,9;

*𝜇* - абсолютная вязкость в сантипаузах (СПЗ);

*v* - относительная вязкость в сантистоксах (ССТ).

Вязкость масел очень сильно изменяется с изменением температуры: с повышением температуры масло становится жидким и теряет смазывающие свойства, а с понижением - оно сильно густеет, создавая дополнительные сопротивления вращению и затрудняя пуск машин. Оптимальной можно считать температуру масла 50 - 70°С. При более высоких температу­рах масла должны содержать специальные присадки.

Все сорта масел нормализованы по ГОСТ, различаются по назначению.

К маслам универсального назначения относятся так называемые индустриальные масла разных марок,  например, индустриальное масло - 50 (вязкость 50 сст при 50°С).

Широкое распространение получили автотракторные масла: автолы, дизельные, нигролы, гипоидные. Первые два сорта масла - для смазки двигателей, вторые - для трансмиссий.

Авиамасла подобны автотракторным, но отличаются луч­шим качеством очистки.

Кроме того, широко применяются другие типы масел: турбинные, веретенные, сепараторные. Общее соображение по применению масел вытекает из гидродинамической теории смазки: чем выше скорости, тем меньше должна быть вязкость масла; при сверхвысоких скоростях даже воздух является смазкой и создает жидкостное трение.

Воду как смазочный материал применяют для подшипников с вкладышами из дерева, резины и пластмасс. Во избежание коррозии вал выполняют с покрытием или из нержавеющей стали.

Пластичные смазочные материалы (мази) изготовляют загущением жидких минеральных масел мылами жирных кислот или углеводородами. В зависимости от загустителя пластичные смазочные материалы делят на солидолы, консталины и др. Они хорошо заполняют зазоры, герметизируя узлы трения. Вязкость их мало меняется с изменением температуры. Применяют в подшипниках, работающих при ударных нагрузках и малых скоростях.

***Антифрикционные материалы.***

Это материалы и сплавы, обладающие низким коэффициентном трения в паре со стальным валом. К ним предъявляются, кроме того, следующие требования:

а) хорошая прирабатываемость;

б) способность удерживать масляную пленку, которая должна как бы прилипать к поверхности;

в) хороший отвод тепла;

г) достаточная механическая прочность.

Всеми этими качествами не обладает ни один из антифрикционных материалов, например:

Баббиты - оловянистые сплавы - не обладают свойством (г), однако их наплавляют на стальной, бронзовый или чугунный вкладыш, что и решает вопрос прочности.

Бронзы оловянистые и свинцовистые слабо обладают свойством (а).

Сплавы на алюминиевой основе слабо обладают свойст­вом (г).

Антифрикционные чугуны вообще обладают недостаточными антифрикционными свойствами и могут применяться лишь при малых удельных давлениях и скоростях.

Неметаллические материалы (пластмассы) имеют довольно высокое значение коэффициента трения и не обладают свойством (в).

Твердые смазочные материалы — графит, дисульфид молибдена и др.— применяют в машинах, когда по условиям производства нельзя: или нецелесообразно применять масла или мази (ткацкие станки, пищевые машины и др.).

Газообразные смазочные материалы — воздух, пары углеводород и др.— применяют в малонагруженных подшипниках при очень высоких частотах вращения — до 250 тысяч оборотов в минуту (электро и пневмошпиндели, центрифуги).

### *Материалы подшипников скольжения*

Подшипниковые материалы выбирают исходя  из условия работы со стальными цапфами валов.  Стоимость валов значительно выше стоимости подшипников и поэтому они должны изнашиваться меньше, чем вкладыши.

Подшипники работают тем надежнее, чем выше твердость валов. Для быстроходных валов шейки имеют твердость HRC 55…60 и изготавливаются из цементуемых сталей.

Комплексные требования к подшипниковым материалам:

– антифрикционность (низкий коэффициент трения скольжения);

– износостойкость и усталостная прочность.

Эти требования обеспечиваются следующими основными свойствами подшипниковых материалов:

а) теплопроводность – создает интенсивный теплоотвод от поверхностей трения и малый коэффициент линейного расширения во избежание больших изменений зазоров.

б) прирабатываемость – обеспечивает уменьшение кромочных давлений, связанных с упругими деформациями и погрешностями  изготовления.

в) хорошая смачиваемость маслом и способность образовывать на поверхности стойкие и быстровосстанавливаемые  масляные пленки.

По химическому составу  антифрикционные материалы делятся  на три большие группы:

– металлические – бабиты, бронзы, сплавы на цинковой основе, на алюминиевой основе, антифрикционные чугуны;

– металлокерамические (железографитовые, получаемые методом порошковой металлургии);

– неметаллические – пластмассы, древесные пластики, резина.

В качестве материала, контактирующего с цапфой вала, в подшипниках скольжения применяются:

1. при спокойной нагрузке, удельном давлении до 20 МПа и малых скоростях скольжения до 5 м/с *антифрикционные чугуны* с повышенным содержанием свободного графита (табл. 1);

Таблица 1. Режимы работы подшипников из антифрикционных чугунов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Чугун(марка) | *НВ*,10 Н/мм2 | Состояниецапфы вала | Удельное давление, *p*не более, МПа | Скорость скольжения, *v*не более, м/с | *p∙v*, не более, МПам/с |
| АЧС-1 | 177-225 | Термообработанная | 8,8 | 2 | 1,8 |
| АЧС-2 | 186-225 | Термообработанная | 5,9 | 3 | 4,4 |
| АЧС-3 | 157-186 | Сырая | 5,9 | 3 | 4,4 |
| АЧВ-1 | 206-255 | Термообработанная | 11,8 | 5 | 11,8 |
| АЧВ-2 | 164-193 | Сырая |  |  |  |
| АЧК-1 | 193-213 | Термообработанная | 11,8 | 5 | 11,8 |
| АЧК-2 | 164-193 | Сырая |  |  |  |
| ЧМ-1,3 | 183-257 | Термообработанная | 19,6 | 1 | 19,6 |
| ЧМ-1,8 | 203-257 | Термообработанная | 0,5 | 25 | 12,5 |

2. бронзы оловянистые (БрОЦС5-5-5; БрОФ10-1 и др.), свинцовистые и оловянисто-свинцовистые (БрС-30; БрО5С25 и др.), безоловянистые (БрА9Ж3Л; БрА10Ж4Н4Л и др.) являются наиболее распространённым подшипниковым материалом при скоростях скольжения до 12 м/с и удельных давлениях до 25 МПа;

3. латуни (медноцинковые сплавы, например, ЛАЖМц52-5-2-1, ЛКС80-3-3 и др.) применяют для изготовления низкоскоростных подшипников при скоростях скольжения до 2 м/с и удельных давлениях до 12 МПа;

4. для изготовления высокоскоростных подшипников в условиях обильной смазки и хорошего теплоотвода при скоростях скольжения до 15 м/с и удельных давлениях до 12 МПа; применяют оловянные, свинцово-оловянные и свинцовые баббиты, например Б89 (89% олова, 9% сурьма, ост. медь), Б16 (16% олова, 16% сурьма, 1,8% медь, ост. свинец);

5. лёгкие сплавы на алюминиевой основе находят широкое применение, для изготовления поверхностей трения подшипников  для неответственных подшипников используют алюминиево-кремниевые сплавы (литейные АЛ3, АЛ4, АЛ5, деформируемые АК4, АК4-1), наиболее высокими антифрикционными качествами обладают алюминиево-оловянные композиты, получаемые спеканием порошковых материалов (например, АО20); по рабочим характеристикам эти материалы приближаются к баббитам при существенно меньшей цене и более высокой износостойкости;

6. неметаллические материалы (ДСП, текстолит, поликарбонаты, капрон, найлон, фторопласты, резины) применяют для изготовления подшипников, работающих при скоростях скольжения до 5 м/с и удельных давлениях до 10 МПа, некоторые из этих материалов (ДСП, резины) допускают использование воды в качестве смазки;

7. металлокерамика (бронзографит, железографит) получается спеканием порошков при высокой температуре и применяется при скоростях скольжения до 3 м/с, удельных давлениях до 6 МПа и недостатке смазки, металлокерамика отличается высокой пористостью (поры занимают до 40% объёма), вследствие чего способна впитывать большие количества масла, этого запаса масла хватает обычно на несколько месяцев работы подшипника без смазки.

Для работы с большинством перечисленных антифрикционных материалов цапфы вала необходимо подвергать термической или химикотермической обработке с целью получения высокой твёрдости рабочей поверхности > HRC 50, а в некоторых случаях (железистые бронзы высокой твёрдости, алюминиевые сплавы) > HRC 55. При этом точность изготовления диаметральных размеров для большинства подшипников лежит в пределах 6…7 квалитетов ЕСДП (единая система допусков и посадок), а шероховатость поверхности Ra – 2,5…0,25 мкм. Более высокая гладкость поверхности цапфы нежелательна вследствие слабого удержания на ней смазки.

### *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.

***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.

## *Электромагнитные подшипники*

Как известно, в машинах и исполнительных механизмах для опор роторов, как правило, используются либо подшипники качения, либо гидродинамические подшипники жидкостного трения. Каждое из этих решений имеет свои преимущества, недостатки и область рационального применения. Однако ни одно из них не обеспечивает желаемых высоких характеристик, надёжности, безопасности, ресурса, КПД, малых потерь на трение и др. Все виды подшипников имеют ограничения по скорости вращения, нагрузкам, тепловым напряжениям, виброхарактеристикам и т.п.

Альтернативным решением для создания эффективной конструкции или разгрузки подшипников качения и скольжения является «магнитный подвес», в котором ротор поддерживается в рабочем зазоре пондермоторными силами электромагнитной системы.

Приведем преимущества подобного конструктивного решения:

- отсутствие момента сухого трения;

- исключение маслосистемы;

- возможность достижения высоких скоростей вращения;

- управляемость характеристик жесткости и демпфирования;

- снижение уровня вибраций;

- возможность подавления резонансных явлений;

- высокая долговечность;

- снижение затрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонт;

- возможность работы в вакууме и агрессивных средах.

Конструктивно радиальный электромагнитный подшипник (рис.22) состоит из статора, представляющего собой композицию электромагнитов, расположенных в корпусе подшипникового узла; пассивного магнита, закрепленного на роторе; датчика положения ротора и страховочного подшипника. Ротор подвешивается в магнитном поле с помощью следящей системы, которая по сигналам датчика регулирует напряжение на катушках электромагнитов и удерживает ротор в центральном положении.

|  |  |
| --- | --- |
|  http://www.detalmach.ru/lect7.files/image355.gif  | http://www.detalmach.ru/lect7.files/image357.gif |
| **Рис. 22. Конструкция радиального****электромагнитного подшипника** | **Рис. 23. Функциональная схема системы****управления электромагнитным****подшипником** |

Наличие мощных силовых полупроводниковых приборов в современных условиях делает возможным создание надежных регулируемых источников питания для электромагнитных подшипников с высокой грузоподъемностью. Развитие средств цифровой микропроцессорной техники позволяет реализовать быстродействующие и точные системы стабилизации положения ротора.

Рамные разработки отечественных образцов электромагнитных подшипников (ВНИИЭМ, г. Москва) или снабжены системами управления, выполненными на аналоговых элементах с применением целого ряда датчиков обратной связи (тока, ускорения и положения). Такие системы громоздки, неудобны в наладке, обладают минимумом диагностических возможностей и требуют специальной подготовки обслуживающего персонала. Современный подход к технической реализации электромагнитного подвеса роторов заключается в создании системы прямого цифрового управления электромагнитами подшипника. Функциональная схема одного канала управления электромагнитным подшипником представлена на рис. 23.

Под объектом управления понимается процесс перемещения ротора в магнитном поле электромагнитов, управляемых напряжением силового транзисторного преобразователя. Датчик положения ротора имеет цифровой выходной сигнал, который подается на инверсные входы двух последовательно включенных цифровых регуляторов, (рис. 24).

Регуляторы выполняются программно на однокристальной ЭВМ или программируемом контроллере. Для управления силовыми ключами транзисторного моста служит цифровой широтно-импульсный модулятор (ШИМ) (рис. 25).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| http://www.detalmach.ru/lect7.files/image359.gif**а** |   | http://www.detalmach.ru/lect7.files/image361.gif |
| **Рис. 24. Схема компоновки магнитного подвеса ротора:****а – схема компоновки электромагнитов; б – схема расположения датчиков** |



**Рис. 25. Схема управления магнитным подвесом генератора**

Такой подход к построению системы управления электромагнитными подшипниками, разработанный учеными и сотрудниками Самарского технического университета, во-первых, отличается простотой технической реализации прямого цифрового управления. Во-вторых, структура системы, известная в технике следящих электроприводов как структурно-минимальный электропривод, позволяет получить высокое быстродействие при обработке внешних возмущений,  абсолютную статическую четкость и активное демпфирование вибраций. В-третьих, цифровая реализация регуляторов дает возможность все настроечные операции производить с внешнего пульта управления и (при соответствующей доработке) автоматизировать процесс настройки. Предложенные системы прямого цифрового управления электромагнитными подшипниками могут быть выполнены миниатюрно на однокристальных контроллерах и специализированных больших интегральных микросхемах, к тому же они относительно дешевы.

Разработанная методика синтеза предлагаемых цифровых систем управления в совокупности со специализированным программным обеспечением позволяет реализовать точный параметрический синтез регуляторов при существенных колебательных свойствах объекта управления.

Замена или разгрузка подшипников скольжения на электромагнитные резко увеличивает срок службы и надежность машин за счет практического устранения износа вращающихся деталей, упрощает их эксплуатацию и обслуживание.

Ротор электрической машины подвешивается в магнитном поле при давлении пондермоторных сил



где  - вектор магнитного поля;   - нормаль к поверхности ротора;  μ - магнитная проницаемость воздуха.

Магнитное поле создается катушкой, размещенной на статоре (см. рис. 36), поэтому направление поля близко к нормам, а давление пондермоторных сил приводит к притяжению ротора к якорю. Поскольку подвеска ротора в стационарном поле магнитов в течение продолжительного времени невозможна, требуется наличие следящей системы, с помощью которой компенсируются отклонения ротора от теоретической оси вращения за счет обмена импульсом между ротором и полем. Время компенсации перемещения, согласно закону сохранения количества движения, равно

∆t=

где γ- плотность материала ротора;  - радиус ротора;  ∆h - допустимое перемещение ротора; S - площадь полюсных наконечников; *l* - длина подшипника.

Проведенный анализ показал, что подвес роторов небольших размеров потребует использования малоинерционных устройств управления магнитным полем. В связи с этим электромагнитный подшипник   целесообразно реализовать с использованием секций, размещенных вдоль ротора (см. рис. 24,*а*) и с применением в системе управления бесконтактных емкостных датчиков (см. рис. 25). При отклонении ротора будет изменяться зазор между ротором и датчиком, что сформирует измерительный сигнал. Результаты измерения (см. рис.25) поступают в вычислительное устройство, вырабатывающее команды управления. Силовые управляющие катушки по управляющему сигналу возвратят ротор на прежнее место. Расчеты стального ротора с размером вала в зоне магнитного поля около 80 мм показали, что при отклонении ротора на 100 мкм время реализации составляет около 1 мс. Требуемая напряженность магнитного поля - около 100 кА/м. Указанные величины вполне реализуемы.

Расчеты показали также, что механические воздействия на автомобильный транспорт (удары с верхней границей частоты 120 Гц) не способны дестабилизировать следующую систему: минимальное время воздействия - около 16 мкс - много больше времени реакции следящей системы. Таким образом, применение электромагнитных подшипников позволит не только увеличить срок службы машин, но и значительно снизить их чувствительность к ударам и вибрациям, что также повысит качество динамических параметров роторных систем.

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

- Из каких соображений выбирается тип подшипника?

- Назовите три общих правила выбора материалов подшипников скольжения.

- Укажите основные способы снижения нагруженности подшипников.

- Перечислите основные требования к расчету 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?

- Каковы основные типы подшипников скольжения, материалы их вкладышей?

- Какова роль смазки в подшипниках скольжения?

- В чем состоит принцип работы гидродинамического подшипника скольжения?

- У каких подшипников (качения или скольжения) и когда сопротивление вращению меньше? Дайте подробное обоснование.

- Какие различают типы подшипников скольжения по конструкции?

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

- Как устроены подшипники скольжения, каково назначение вкладышей? Когда применяют самоустанавливающиеся вкладыши?

- Какие различают режимы смазки в подшипниках скольжения? Какая смазка обес­печивает безизносную работу подшипника?

- Как обеспечивают режим жидкостной смазки в гидродинамических и гидростатических подшипниках скольжения?

- Какие материалы применяют для изготовления  вкладышей? Какие требования предъявляют к этим материалам?

- Какие смазочные материалы, и в каких случаях применяют в подшипниках скольжения? Как их подводят к узлам трения?

- Каковы виды разрушения подшипников скольжения?

- Устройство подшипников качения.

- Характеристика типов подшипников.

- Серии подшипников, их влияние на габаритные размеры, грузоподъемность и быстроходность.

- Классы точности и ряды радиальных зазоров.

- В чем разница  понятий «ширина» и «монтажная высота»?

- Уметь расшифровывать любой пример условного обозначения, предложенный преподавателем.

- Что такое динамическая и статическая грузоподъемности подшипника? Как они определяются?

- Как рассчитать предельную частоту вращения подшипника?

- Какую нагрузку (по направлению и соотношению величин) могут воспринимать подшипники 305, 2305, 42305, 46305, 8305?

- Какой подшипник воспринимает большую осевую силу: 310 или 70-310?

- Из каких материалов изготавливают детали подшипников?

- Каковы критерии работоспособности подшипников скольжения?

- Как классифицируют подшипники по виду трения и воспринимаемой нагрузке?

- Что такое жидкостное и полужидкостное трение в подшипниках скольжения?

- Какие основные условия необходимы для образования жидкостного трения?

- Какие параметры конструкции, кроме диаметра вала, определяют при расчете подшипников скольжения?

- Какие материалы применяют для подшипников скольжения?

- С учетом достоинств и недостатков подшипников скольжения назовите машины, в которых их можно применять.

- Как устроены подшипники скольжения, каково назначение вкладышей? Когда применяют самоустанавливающиеся вкладыши?

***-***Для чего во втулке 1 неразъемного подшипника (см. рис.) делают ка­навки К и отверстие 0?



***-***Для чего в корпусе подшипника предусмот­рен (см. рис.) зазор δk? Назначение выступа *B*?



- Какой подшипник показан на рисунке?



***-***Какую нагрузку может воспринимать опора, показанная на рисунке?



- На рисунке найдите подшипники качения ведущего вала зубчатого редук­тора. Дайте характеристику подшипников по форме тел качения.



- Как обеспечивают режим жидкостной смазки в гидродинамических и гидростатических подшипниках скольжения?

- Какие материалы применяют для изготовления вкладышей? Какие требования предъявляют к этим материалам?

- Какие смазочные материалы и в каких случаях применяют в подшипниках скольжения? Как их подводят к узлам трения?

- Каковы виды разрушения подшипников скольжения?

- Каковы критерии работоспособности подшипников скольжения? Какие параметры определяют при условном расчете?

*-*Запишите основные формулы для проведения условного расчета подшип­ников скольжения.

- Определите   среднее   давление   в   подшипнике,   если   диаметр цапфы *d* = 60 мм, ее длина *l* = 60 мм. На подшипник действует сила *F*r = 5,75 кН.

- Что является обязательным элементом в конструкции подшипников скольжения?

- Какие поломки наблюдаются у подшипников скольжения?

***-***Запишите условие износостойкости подпятников.

- Какие режимы трения возможны в подшипниках скольжения со смазкой?

- Опишите устройство и классификацию подшипников качения.  Из каких материалов изготовляют их составные части?

- Каковы достоинства и недостатки подшипников качения по сравнению с подшипниками скольжения?

- Укажите основные причины выхода из строя подшипников качения. Каковы внешние признаки выбраковки их?

- Дайте определение базовой статической и динамической грузоподъемности.

- Какую нагрузку называют  эквивалентной динамической?

- Назовите принципы подбора подшипников качения.

- Как рассчитывают подшипники качения на долговечность?

- Объясните маркировку подшипников качения. Определите тип и размеры подшипников, имеющих условные обозначения: 208, 2208 и 36208.

- Каковы основные требования к выбору подшипников качения?

- Каковы основные типы подшипников качения?

- Что такое статическая и динамическая грузоподъемности подшипников?

- Как производится подбор подшипников по динамической грузоподъемности?

- Почему упорные подшипники значительно тихоходнее радиальных того же размера?

- Как определяются осевые нагрузки при фиксации двух опор вала в радиально-упорных подшипниках?

- Укажите основные виды расчетов подшипников качения.

- Каковы основные принципы конструирования подшипниковых узлов?

- Из каких деталей состоят подшипники качения? Каково назначение сепаратора в подшипнике?

- Чем принципиально отличаются подшипники качения от подшипников скольжения?

- Каковы достоинства и недостатки подшипников качения по сравнению с подшипниками скольжения?

- Как классифицируют подшипники качения по направлению воспринимаемой нагрузки, по форме тел качения, по основным конструктивным признакам?

- Какие различают основные типы шарико- и роликоподшипников? Где их применяют?

- Каковы особенности конструкции и работы сферических и игольчатых подшипников? Где их применяют?

- Определите тип и размер внутреннего диаметра подшипников, имеющих условные обозначения: 408, 2306, 36207, 1209.

- Сравните подшипники, имеющие условные обозначения: 7206 и 6-7306.

- Определить внутренний диаметр и серию подшипника 50312.

- Запишите характеристику подшипников качения, имеющих обозначение (клеймо) 2404.

- Перечислите типы подшипников качения, относящихся к радиальным, радиально-упорным, упорным.

- Допускает ли осевую нагрузку подшипник 2412?

- Классификация подшипников качения.

- Условное обозначение подшипников по ГОСТ.

- Расшифруйте обозначения и нарисуйте сечения подшипников:

1)  24-101Т2,  6-180208С17,   А5-206Ю;

2) 2308,  20-102605,   4-3182124К;

3) Х-7606А,  38208,  66-36206Е;

4)  5-1210Х2,   2007112Д,   5-178820.

- Какие подшипники из предложенных пар и почему имеют большие грузоподъемность и габариты :  208 или 408;  208 или 2208;  205 или 296;  36308 или 36318**;** 7208 или 7508;  7508 или 7608; 7210 или 7210А?

- Схемы установки подшипников на валах.

- Особенности радиально-упорных подшипников и требования, предъявляемые к ним при сборке.

- Что следует предпринять, если из 200 подшипников, установленных в редукторах, 16 при базовом ресурсе преждевременно получили повреждения?

- Какие типы подшипников качения следует назначить, если отношения *Fa* / *Fr* равны:   0,2;   0;   0,6;   2;   8;   20?

 - Характер разрушения и методы подбора подшипников качения при *n*= 1300;  2,5;  20;  0,9  и 0,4 мин-1**.**

- Подбор подшипников по статической грузоподъемности.

- Подбор подшипников качения по динамической грузоподъемности.

- Особенности подбора подшипников при *n* > 1 мин-1**.**

**-** Какой из подшипников в предложенных схемах воспринимает внешнюю осевую силу *FA*? Что изменится при реверсировании передачи?



- Формулы базового и скорректированного ресурсов подшипников.

- Во сколько раз изменится *L*10*ah*, если при прочих равных условиях и нагрузке роликовые подшипники заменить шариковыми?

- Насколько изменится ресурс шарикоподшипника, если нагрузку на него  увеличить вдвое, а частоту вращения уменьшить в 2 раза?

- Как изменится ресурс подшипника, если требование по надежности увеличить с 0,9 до 0,96?

- Какие напряжения испытывают детали подшипников (кроме сепаратора), и в каком месте они наибольшие?

- Подшипник 416 (*Сr* = 128 кН) после выхода из строя был заменен на 32416 (*Сr*= 248 кН). Какого изменения *Lh* можно ожидать, если *Fr*= 3000 Н?

- Подшипники скольжения: устройство, области применения, расчет.

- Условия образования жидкостного трения.

- Считаете ли вы правильным при проектировании новых машин примене­ние только подшипников качения? Почему?

- Какого типа подшипники следует выбрать для редуктора с шевронными зубчат