

Министерство образования и науки Самарской области

государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Самарской области «Усольский сельскохозяйственный техникум»

Дисциплина ОПД 02 Техническая механика

Курс 2 группа 21 м

Преподаватель Евдокимов В.Н evdokimov412@yandex.ru

Урок № 107-108 Дата 04.05.2020 г

Тема: 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 перекося 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 изготавливают 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.

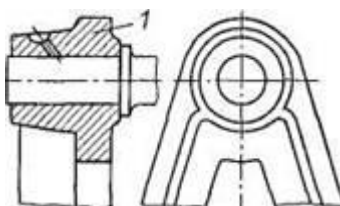


Рис. 1. Неразъемный подшипник скольжения: 1 — станина

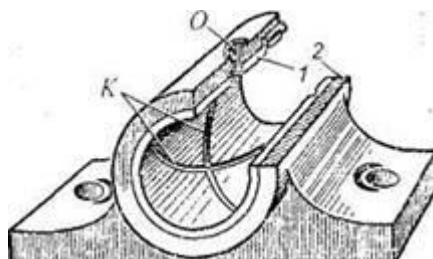


Рис.2. Неразъемный подшипник скольжения: 1 — втулка; 2 — корпус

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

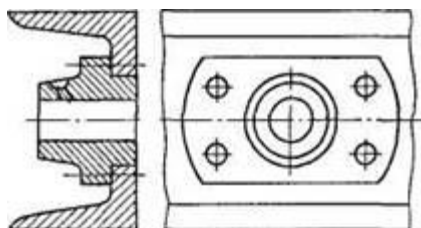


Рис. 3. Неразъемный подшипник скольжения

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).

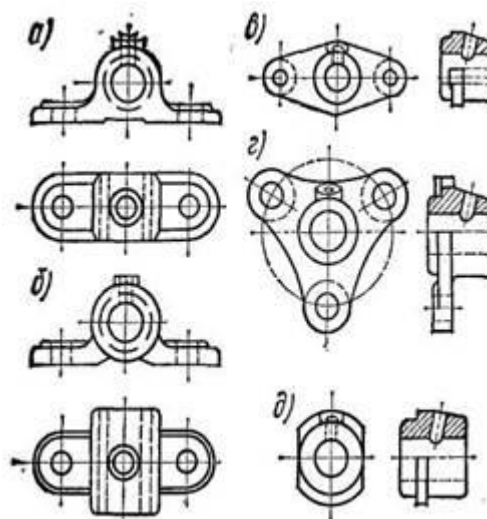


Рис.3.1.

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 ($v_s \leq 5$ 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 (p до 15 МПа) и средних скоростях скольжения (v_s до 10 м/с) широко 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 окисляют 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, серебра, сплава алюминия.

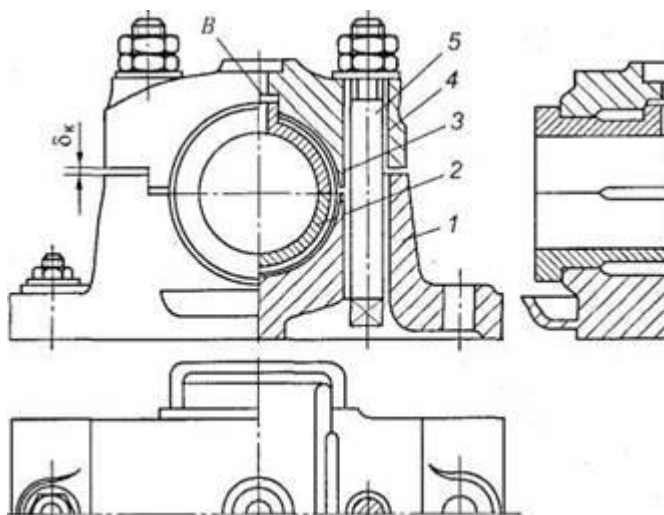


Рис. 4. Разъемный подшипник скольжения: 1 — станина; 2, 3 — вкладыши (полукольца); 4 — крышка; 5 — болт

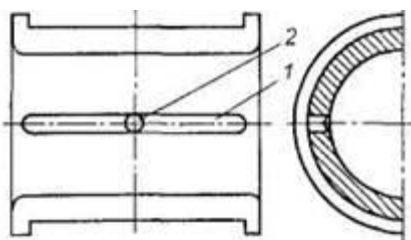


Рис. 5. Вкладыш: 1 — канавка; 2 — отверстие для подвода смазки

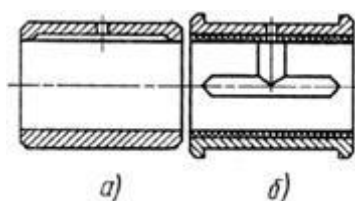


Рис.5.1. Конструкция вкладыша подшипника скольжения
а) вкладыш-втулка; б) вкладыш из двух половин с заливкой

Смазочные канавки делают в верхнем вкладыше (в ненагруженной зоне подшипника), как показано на рис. 5. Для того чтобы вкладыши не имели осевых перемещений, их изготавливают 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 $\delta_k < 5$ 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.

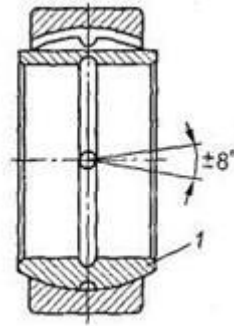


Рис. 6. Самоустанавливающийся подшипник: 1 — вкладыш

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 изготавливают 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 изготавливают из тех же антифрикционных материалов, что и вкладыши радиальных подшипников. Деталь 3 — втулка радиального подшипника.

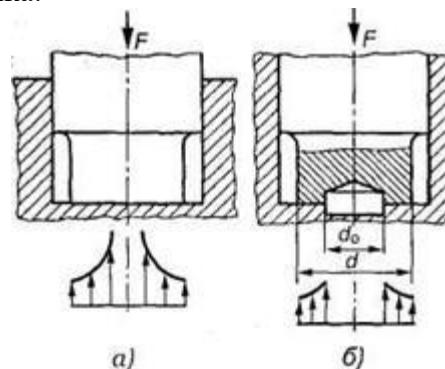


Рис. 7. Подпятники: а — с плоской пятой; б — с кольцевой пятой

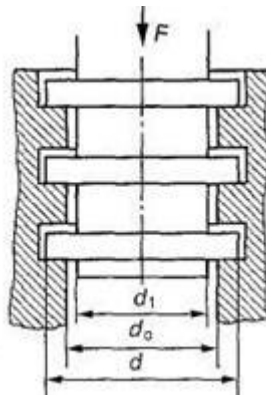


Рис. 8. Подпятник с гребенчатой пятой

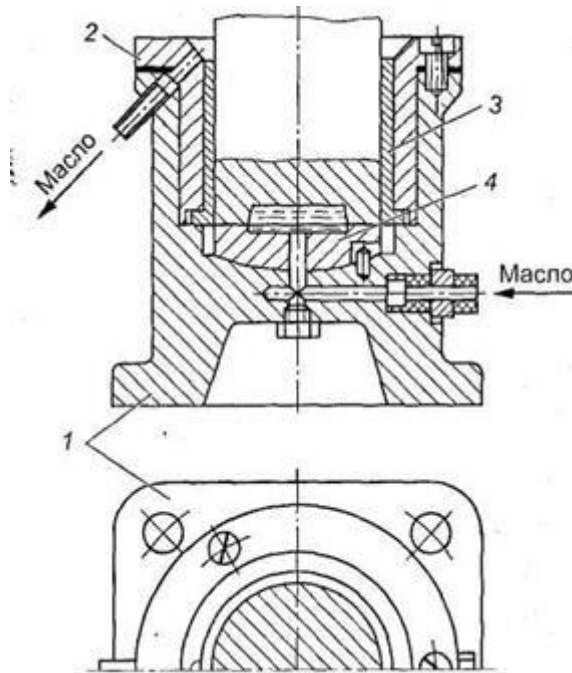


Рис. 9. Опора вала: 1 — корпус; 2 — крышка; 3 — втулка радиального подшипника; 4 — опорный вкладыш

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);

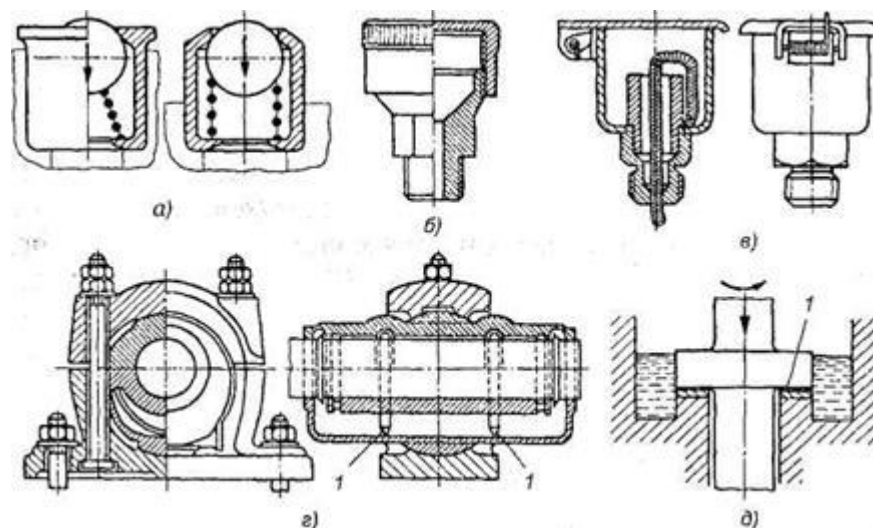


Рис. 10. Способы смазывания подшипников: *а* — масленка с шаровым клапаном; *б* — колпачковая масленка; *в* — масленка с фитилем; *г* — смазывание кольцом; *д* — смазывание окунанием

- 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.

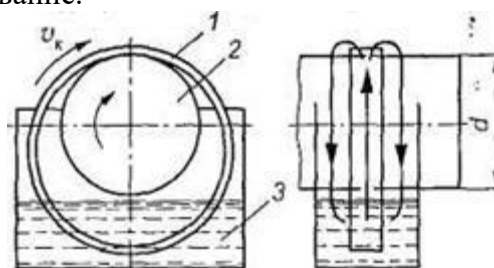


Рис. 11. Смазывание подшипника кольцом: *1* — кольцо; *2* — цапфа; *3* — резервуар для масла

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. Этому 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, δ — 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 окунаем 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 быть 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°C).

$$\mu = \gamma \nu$$

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

μ - абсолютная вязкость в сантипаузах (СПЗ);

ν - 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°C. 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°C).

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, констатины 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 коэффициентом 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)	<i>HV</i> , 10 Н/мм ²	Состояние цапфы вала	Удельное давление, <i>p</i> не более, МПа	Скорость скольжения, <i>v</i> не более, м/с	<i>p v</i> , 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 бабиты, 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 неотчетственных 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, нейлон, 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.

Критерии работоспособности и расчета подшипников скольжения

Основными *критериями работоспособности* и расчета подшипников являются:

а) **Теплостойкость.** Работа трения нагревает подшипник. С повышением температуры снижается вязкость смазки, толщина смазочного слоя и увеличивается вероятность заедания цапфы в подшипнике. Перегрев подшипника является основной причиной его разрушения. Поэтому основными характеристиками являются сопротивление абразивному изнашиванию, заеданию и схватыванию;

б) **Износостойкость.** Работа подшипника сопровождается износом вкладыша и цапфы, что нарушает правильную его работу. Интенсивность износа определяет долговечность подшипника.

в) **Статическая и усталостная прочность.** В случае действия больших кратковременных перегрузок ударного характера вкладыши подшипников могут хрупко разрушаться. Такому разрушению подвержены вкладыши из баббитов и пластмасс. Усталостное выкрашивание свойственно подшипникам с малым износом и наблюдается сравнительно редко.

Абразивное изнашивание вкладышей происходит вследствие попадания со смазочным материалом на трущиеся поверхности абразивных частиц (пыли, грязи) и

неизбежного трения при пуске и останове. Если износ превышает норму, вкладыш заменяют.

Заедание происходит при перегреве подшипника. Вследствие трения нагреваются цапфа, вкладыш и масло. С повышением температуры понижается смазочная способность масла, которая связана с прочностью тонкой масляной пленки на поверхностях трения. При повышении температуры в рабочей зоне подшипника до некоторого критического значения эта пленка разрушается. Возникает трение без смазки (металлический контакт), что влечет за собой дальнейшее повышение температуры и заедание (схватывание) поверхностей трения. Заедание приводит к выплавлению вкладыша. Подшипник выходит из строя.

Схватывание возникает при потере масляной пленки своей защитной способности из-за повышенных местных давлений и температур. Этому способствует повышение кромочных давлений как следствие перекоса вала в подшипнике. Конечной стадией отказа подшипника является полное захватывание цапфы в подшипнике в результате разогрева цапфы и выборке зазора в подшипнике до нуля.

Усталостные разрушения фрикционного слоя наблюдаются при значительной пульсации нагрузки: в поршневых машинах, в машинах ударного и вибрационного действия. При некачественной заливке вкладышей наблюдается отслаивание заливки.

Основным расчетом подшипников скольжения является расчет на жидкостное трение, который основывается на том, что масляный слой должен воспринимать всю нагрузку, а его толщина должна быть больше сумм неровностей обработки цапфы и вкладыша. Составной частью расчета является тепловой расчет, т.к. недопустимое повышение температуры приводит к изменению свойств смазки и выплавлению заливки вкладышей.

Кроме того, применяются условные расчеты.

Условный расчет подшипников скольжения и подпятников

Подшипники скольжения чаще всего выходят из строя вследствие абразивного изнашивания или заедания. В машинах, где подшипники воспринимают большие ударные и вибрационные нагрузки, возможно усталостное разрушение рабочего слоя вкладышей.

Условный расчет подшипников скольжения проводят для подшипников, работающих в условиях граничного трения (режим полужидкостной смазки), когда трущиеся поверхности гарантированно не разделены слоем смазочного материала, а на рабочей поверхности вкладыша имеется лишь тонкая масляная пленка, которая может разрушиться. Этот расчет проводят для обеспечения износостойкости и отсутствия заедания. К таким подшипникам относятся подшипники грубых тихоходных механизмов, машин с частыми пусками и остановками, неустановившимся режимом нагрузки, плохими условиями подвода смазки и т. д.

Для подшипников жидкостного трения производят специальный расчет, основанный на гидродинамической теории смазывания.

Интенсивность изнашивания зависит от давления между цапфой и вкладышем, материалов, из которых они изготовлены, стойкости масляной пленки и долговечности сохранения смазывающих свойств масла.

Подшипники, работающие в условиях граничного трения, рассчитывают по условной методике. Во-первых, ограничивают среднее давление p_c между цапфой и вкладышем, что обеспечивает ограничение износа и невыдавливание смазки между рабочими поверхностями вкладыша подшипника и цапфы. Во-вторых, по произведению $p_c v$ (v – окружная скорость вращения цапфы) пару «цапфа – вкладыш» рассчитывают на нагрев с тем, чтобы обеспечить нормальный тепловой режим работы подшипника. Произведение $p_c v$ характеризует удельную мощность трения, поэтому при превышении допустимого значения $[p_c v]$ температура локально повышается настолько, что

происходит разрыв масляного слоя, и, как следствие, схватывание поверхностей цапфы и вкладыша.

Одна из основных условностей расчета состоит в том, что давление считают равномерно распределенным по поверхности контакта цапфы и вкладыша, как показано на рис.12.1. Установить истинный закон распределения давлений практически невозможно, так как он зависит от большого числа факторов, в частности, от жесткости цапфы и вкладыша, погрешностей монтажа, режима эксплуатации и т. д.

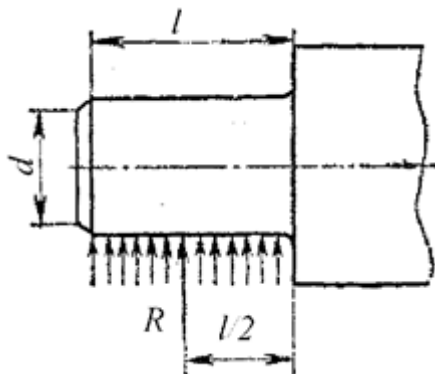


Рис.12.1

Расчет по среднему давлению p_c гарантирует невыдавливаемость смазочного материала и представляет собой расчет на износостойкость, а расчет по $p_c v$ обеспечивает нормальный тепловой режим и отсутствие заеданий.

Условие нормальной работоспособности подшипников скольжения и подпятников в условиях граничного трения:

$$p_c \leq [p_c], \quad (1)$$

$$p_c v \leq [p_c v], \quad (2)$$

где p_c — действительное среднее давление между цапфой и вкладышем (или пятой); v — окружная скорость цапфы; $[p_c]$ — допускаемое давление и $[p_c v]$ — допускаемое значение критерия (можно выбирать по табл. 1.1).

Если при расчете условия не выполняются, то необходимо изменить материал или ширину вкладыша и повторить расчет.

Условный расчет для подшипников, работающих в условиях граничного трения, является основным, его выполняют в большинстве случаев как проверочный, а для подшипников жидкостного трения — как ориентировочный.

Таблица 1.1. Допускаемые значения давления $[p_c]$ и критерия $[p_c v]$ для подшипников скольжения и подпятников

Материал цапфы и вкладыша	$[p_c]$, МПа	$[p_c v]$
Сталь по чугуну	2-4	1-3
Сталь по бронзе БрОбЦ6С3	4-6	4-6
Сталь закаленная по бронзе БрА9Ж4	15-20	18-12
Сталь по антифрикционному чугуну АЧК-1, АЧК-2 при $v = 0,2$ м/с	9	1,8
То же, при $u = 2$ м/с	0,05	0,1
Сталь по антифрикционному чугуну АЧК-1, АЧК-2 при $v = 1$ м/с	12	12
То же, при $v = 5$ м/с	0,5	2,5
Сталь закаленная по баббиту	6-10	12-25

Среднее рабочее давление между цапфой и вкладышем (рис. 12.2) определяют по формуле

$$p_c = \frac{F_r}{dl} \quad (3)$$

где F_r — радиальная нагрузка на подшипник; d — диаметр цапфы; l — длина цапфы; dl — проекция опорной поверхности на диаметральную плоскость.

Длину цапфы назначают в зависимости от диаметра вала $l = \varphi d$, где $\varphi = 0,5 \dots 1,2$ выбирают из опыта эксплуатации.

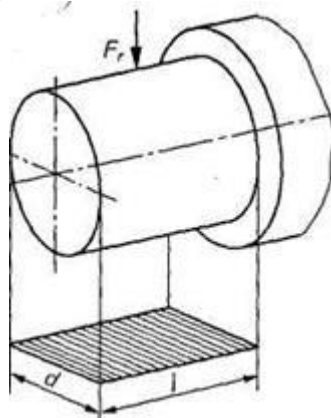


Рис. 12.2. Расчетная площадь смятия подшипника

Расчетная окружная скорость цапфы

$$v = \frac{\omega d}{2}, \quad (4)$$

где ω — угловая скорость цапфы; d — ее диаметр.

Среднее рабочее давление под пятой (рис. 7, б)

$$p_c = \frac{F_a}{\pi/4(d^2 - d_0^2)K_\psi} \quad (5)$$

где F_a — осевая нагрузка; d и d_0 — диаметры пяты;

$K = 0,8 \dots 0,9$ — коэффициент, учитывающий уменьшение опорной поверхности из-за наличия смазочных канавок.

Расчетная окружная скорость вала

$$v = \omega R_{\text{пр}}, \quad (6)$$

где ω — заданная угловая скорость вала;

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \frac{d^3 - d_0^3}{d^2 - d_0^2} - \text{приведенный радиус};$$

d и d_0 — диаметры пяты.

Список использованных источников

1. Кузнецов Н.Г., Кузнецова Г.С. Детали машин. 3-е изд.: Высш. Шк., 1984.- 255 с., ил.
2. Анурийев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 2. - 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1980. — 559с.
3. <http://ifio.npi-tu.ru/>

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение подшипников скольжения
2. Для чего во втулке неразъемного подшипника делают канавки и отверстия?
3. Область применения подшипников скольжения
4. Достоинства и недостатки подшипников скольжения