

Подшипники

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).

Подшипники скольжения

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

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.

Для уменьшения изнашивания необходимо рационально выбирать материал трущихся пар и обеспечить нормальные условия смазывания рабочих поверхностей.

Конструкции подшипников скольжения

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.

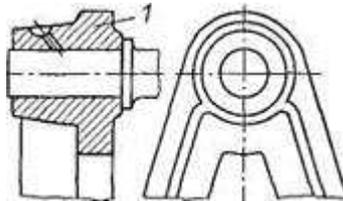


Рисунок 1 - Неразъемный подшипник скольжения: 1 — станина

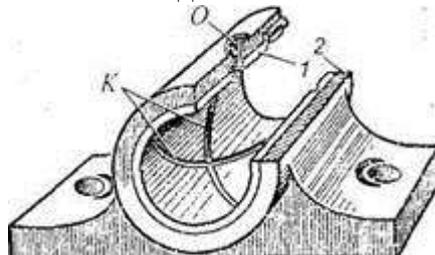


Рисунок 2 - Неразъемный подшипник скольжения: 1 — втулка; 2 — корпус

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

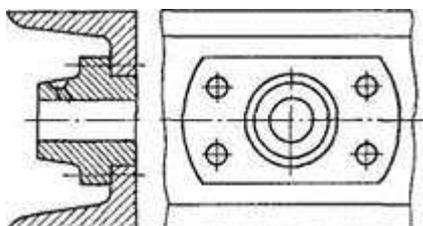


Рисунок 3 - Неразъемный подшипник скольжения

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 1 и крышки 4, соединенных болтами или шпильками 5. 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 вкладышах делают канавку 1 (рис.5), в которую через отверстие 2 подводят смазочный материал.

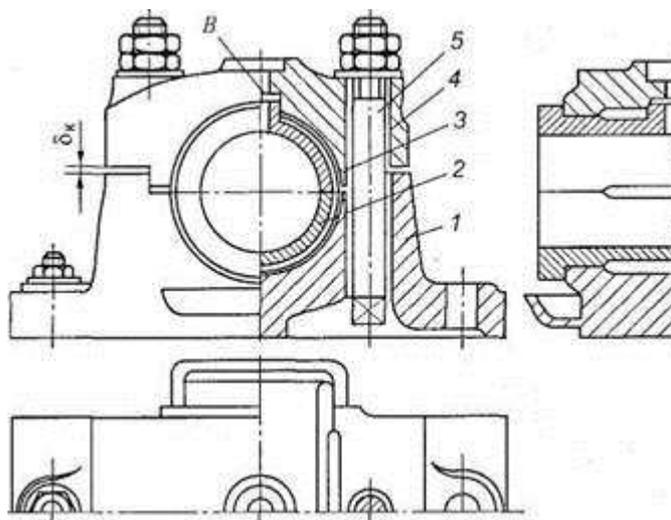


Рисунок 4 - Разъемный подшипник скольжения: 1 — станина; 2, 3 — вкладыши (полукольца); 4 — крышка; 5 — болт

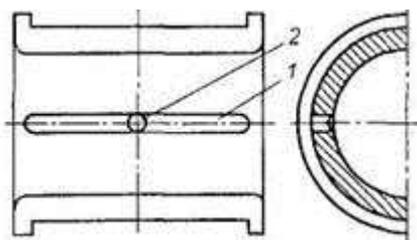


Рисунок 5 - Вкладыш: 1 — канавка; 2 — отверстие для подвода смазки

Материал вкладышей выбирают с учетом условий работы, назначения и конструкции опор, а также стоимости и дефицитности материала. При этом материал 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.

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.

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 $\delta_x < 5$ 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*.

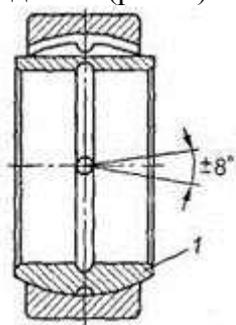


Рисунок 6 - Самоустанавливающийся подшипник: 1 — вкладыш

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.

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).

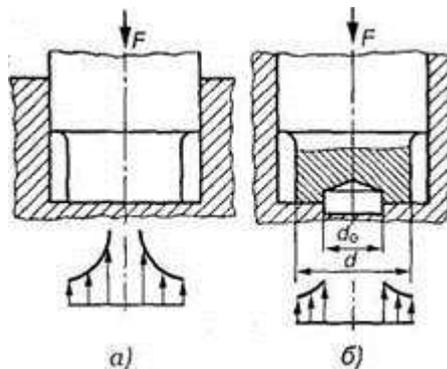


Рисунок 7 - Подпятники: а — с плоской пятой; б — с кольцевой пятой

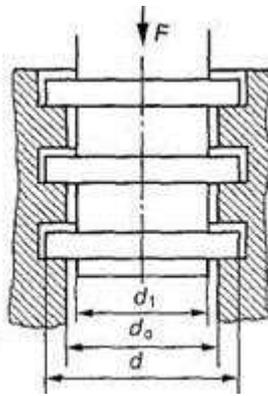


Рисунок 8 - Подпятник с гребенчатой пятой

Подпятник (рис. 9) состоит из стального или чугунного корпуса 1, 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.

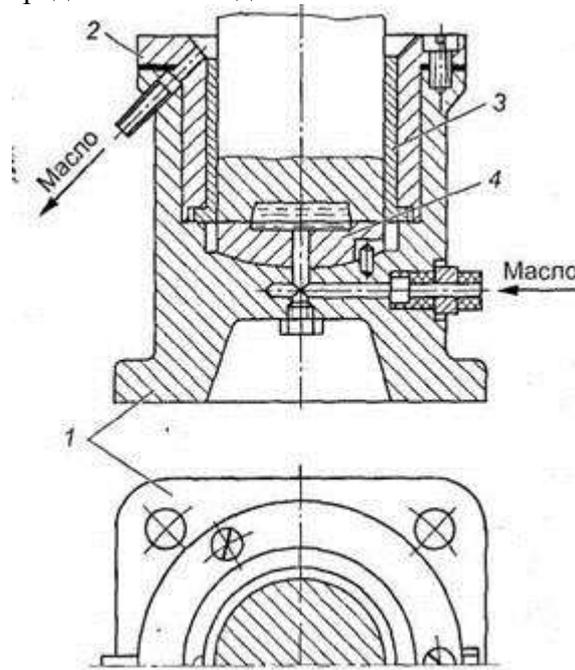


Рисунок 9 - Опора вала:

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — втулка радиального подшипника; 4 — опорный вкладыш

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);

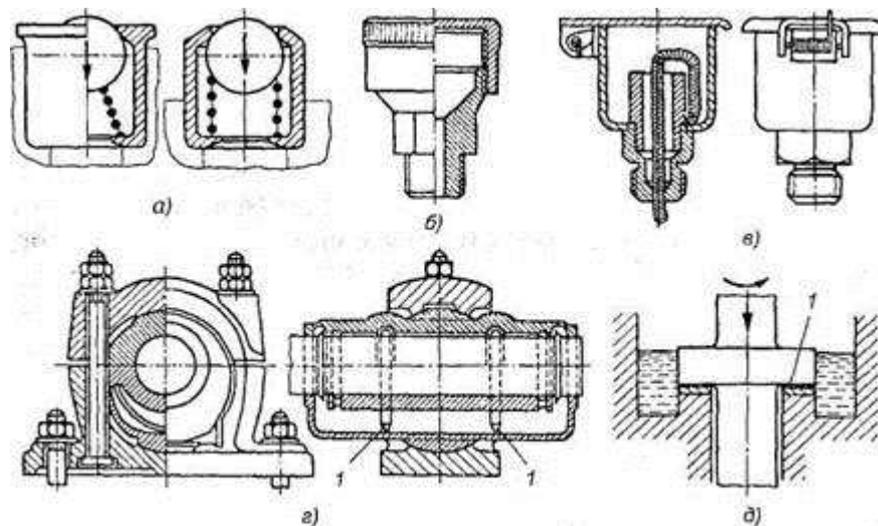


Рисунок 10 - Способы смазывания подшипников: *а* — масленка с шаровым клапаном; *б* — колпачковая масленка; *в* — масленка с фитилем; *г* — смазывание кольцом; *д* — смазывание окунанием

- 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.

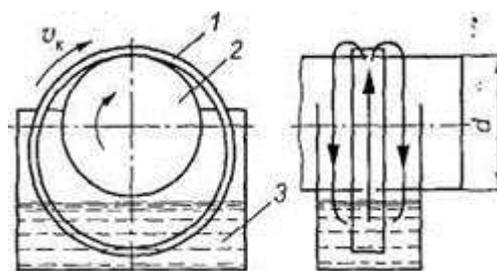


Рисунок 11 - Смазывание подшипника кольцом: 1 — кольцо; 2 — цапфа; 3 — резервуар для масла

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). Недосток 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, *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 окутанием в масляную ванну. При 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 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.

Широкое распространение получили автотракторные масла: автолы, дизельные, нигролы, гипoidные. 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 (MoS_2) 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).

Достоинства подшипников скольжения:

- *сохранение работоспособности при высоких угловых скоростях валов (газодинамические подшипники в турбореактивных двигателях при $n > 10000$ 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;*
- *виброустойчивость;*
- *простота изготовления и ремонта.*

Недостатки подшипников скольжения:

- *большое изнашивание вкладышей и цапф валов из-за трения;*
- *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.*
- *значительные габариты в осевом направлении (длина вкладышей может достигать $3d$, где d — диаметр цапфы вала).*

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:

- 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, 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 *тихоходных машинах, бытовой технике*.

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

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

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.