

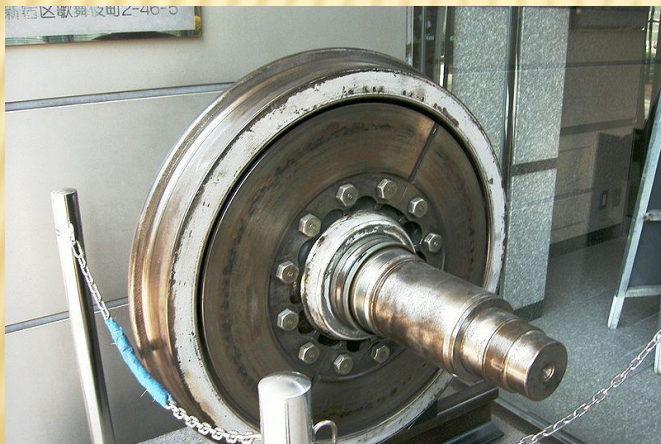
**ДЕТАЛИ МАШИН**

**ВАЛЫ И ОСИ**

# ПЛАН

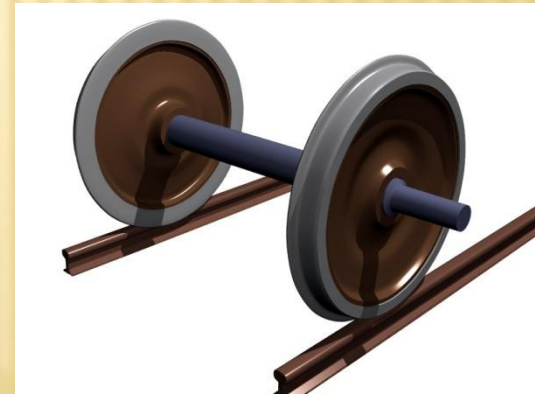
- ❑ Оси, валы и соединения
- ❑ Классификация валов
- ❑ Условия работы
- ❑ Материалы для изготовления
- ❑ Подшипники
- ❑ Классификация подшипников
- ❑ Муфты, их назначение и классификация.

- ❑ **Валы и оси** - это детали, поддерживающие вращающиеся части машины.
- ❑ **Оси**, несущие на себе вращающиеся части, не передают моментов и **подвергаются только изгибу**;
- ❑ **Валы**, являясь, как и оси, поддерживающими деталями, помимо того, **передают момент и работают не только на изгиб, но и на кручение**.
- ❑ **Цапфа** представляет собой часть вала или оси, на которой находится опора (подшипник). В зависимости от положения цапфы на валу различают три ее вида :
  - **Шип** - цапфа на краю вала,
  - **Шейка** - цапфа в средней части вала,
  - **Пята** – цапфа на конце вала, воспринимающая осевые нагрузки.

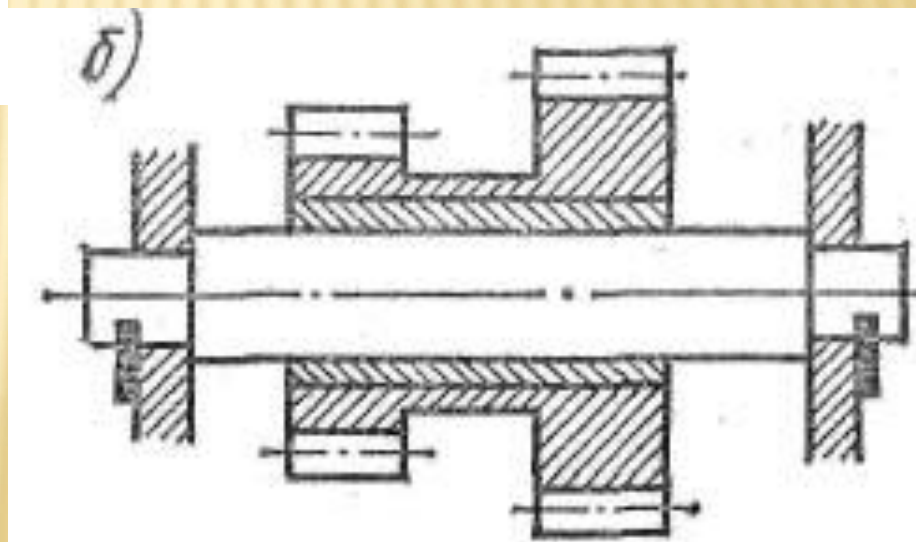
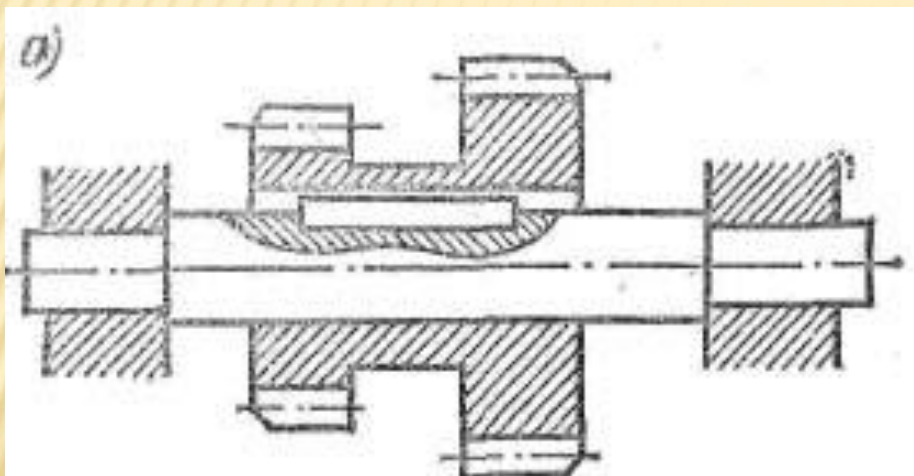


# НАЗНАЧЕНИЕ

- ❑ **Вал** - предназначен для поддержания сидящих на нем деталей и для передачи вращающего момента. При этом вал воспринимает силы, действующие на детали, и передает их на опоры. При работе вал испытывает изгиб и кручение.
- ❑ **Ось** - предназначена только для поддержания сидящих на ней деталей. Ось не передает вращающего момента и, следовательно, не испытывает кручения. Оси могут быть неподвижные и вращающиеся.



- ПО КОНСТРУКЦИИ ОСИ МОЖНО РАЗДЕЛИТЬ НА ДВЕ ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ:
- ОСИ, ВРАЩАЮЩИЕСЯ В ОПОРАХ ВМЕСТЕ С НАСАЖЕННЫМИ НА НИХ ДЕТАЛЯМИ (РИС. А);
  - НЕПОДВИЖНЫЕ ОСИ, ЯВЛЯЮЩИЕСЯ ОПОРОЙ ВРАЩАЮЩИХСЯ НА НИХ ДЕТАЛЕЙ (РИС. Б).



# КЛАССИФИКАЦИЯ ВАЛОВ

## По назначению:

- ❑ валы передач, несущие зубчатые колеса, шкивы, звездочки, муфты;
- ❑ коренные валы и другие специальные валы, несущие кроме вышеназванных деталей рабочие органы машин, двигателя и изделия (колеса и диски турбин, патроны и т.д.).

## По форме поперечного сечения:

- ❑ гладкие сплошного сечения;
- ❑ пустотелые (для размещения соосного вала, деталей управления, подачи масла, охлаждения);
- ❑ шлицевые.

## По конструкции и форме:

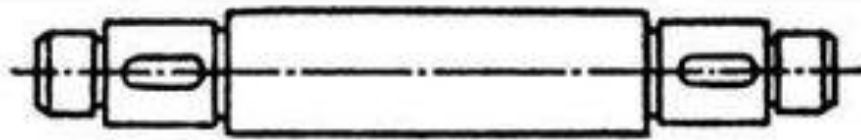
- ❑ прямые;
- ❑ коленчатые;
- ❑ гибкие.

## Прямые валы делятся на:

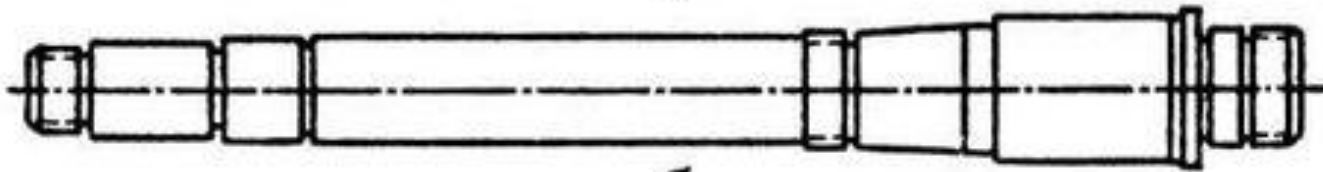
- ❑ гладкие цилиндрические;
- ❑ ступенчатые;
- ❑ валы-шестерни, валы-червяки;
- ❑ фланцевые;
- ❑ карданные.

# КЛАССИФИКАЦИЯ ВАЛОВ

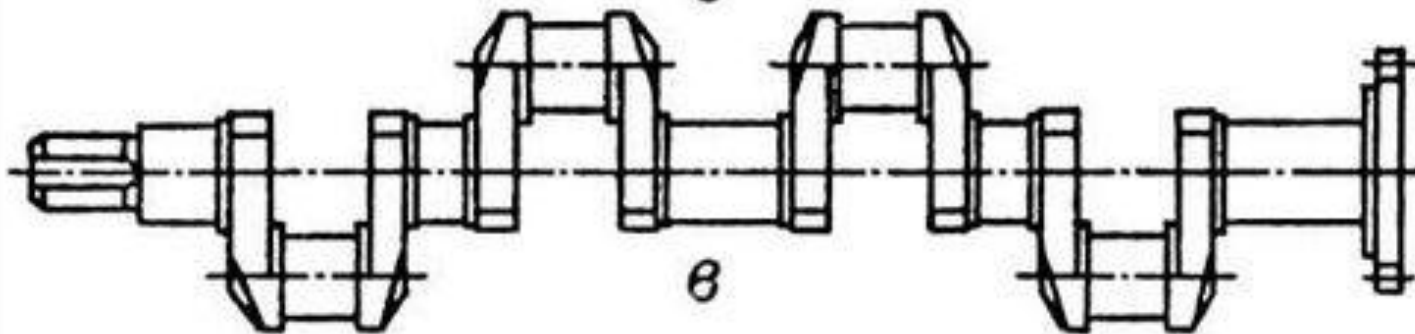
**а** — вал ступенчатый; **б** шпиндель металлорежущего станка; **в** — вал коленчатый; **г** — гибкий



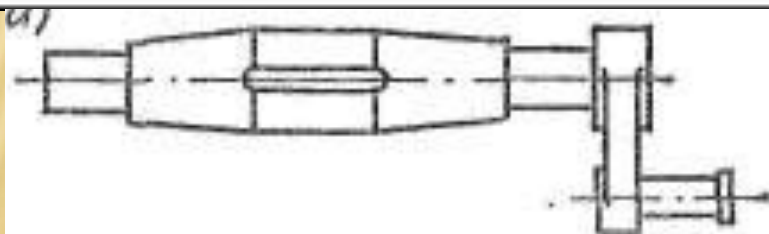
*а*



*б*



*в*



*г*



# УСЛОВИЯ РАБОТЫ

- Валы воспринимают силы со стороны передачи, следовательно, испытывают сложную деформацию: изгиб и кручение.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma] \qquad \tau_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{\rho}} \leq [\tau]$$

- В процессе работы возможны статические и усталостные поломки (в том числе обусловленные колебаниями), а также недопустимые деформации от прогиба валов.

- В связи с этим, основными критериями работоспособности являются прочность и жесткость.

- У валов, работающих в паре с подшипниками скольжения важно обеспечить износостойкость.

- Практикой установлено, что разрушение валов и осей быстроходных машин в большинстве случаев носит усталостный характер, поэтому основной расчет - расчет на сопротивление усталости.



# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Для изготовления валов и осей применяются углеродистые и легированные стали.

В том случае, когда для вала основным критерием является жесткость, применяются сталь **20, 30, 40, 50 ГОСТ 1050-88** (без термической обработки).

Для большинства валов, используются стали **45, 40Х, 40ХН**, титановые сплавы **ВТ6, ВТ9**.

Валы, работающие в паре с подшипниками скольжения и шлицевые валы, изготавливают из сталей **20Х, 20ХН, 12ХН4А, 18ХГТ**, с цементацией и последующей закалкой.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вал, как правило, ступенчатый.

Это позволяет:

- приблизить форму вала к брусу равного сопротивления;
- легко выполнять сборку и разборку деталей, посаженных на вал;
- легко осуществлять осевую фиксацию деталей.

На ступенчатом валу переходные участки являются концентраторами напряжений.



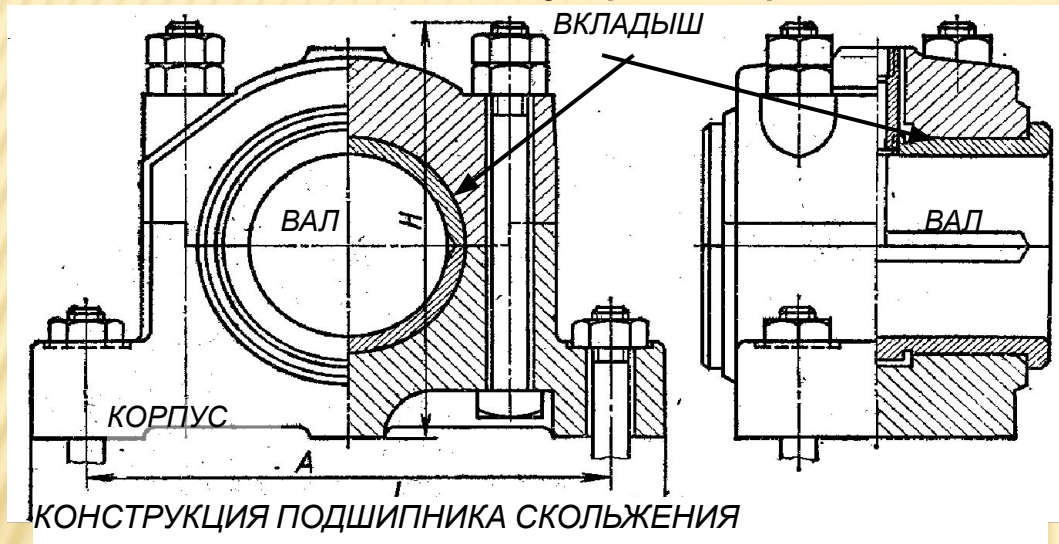
# ПОДШИПНИКИ

---

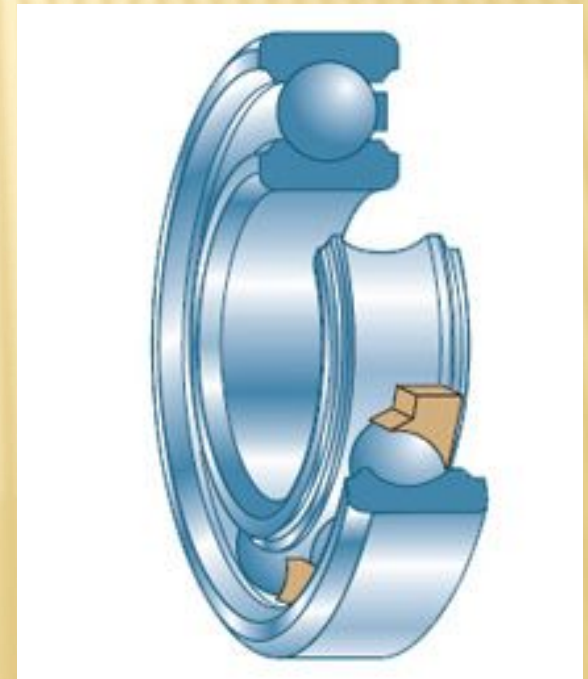
# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Подшипники служат опорой для валов и вращающихся осей.

Подшипники по виду трения различают:

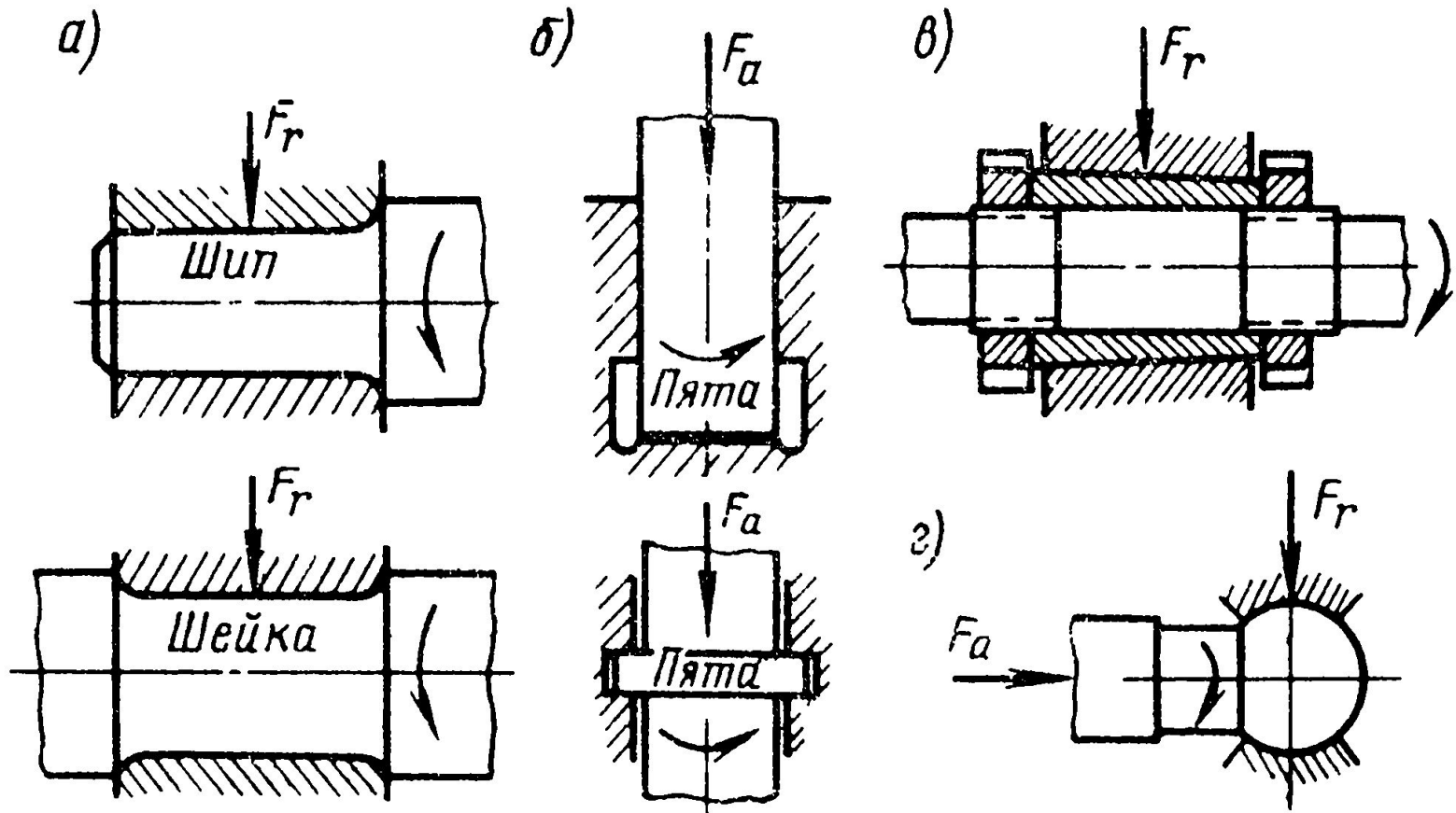


-подшипники скольжения, у которых опорный участок вала (цапфа - шип, шейка, пята) скользит по поверхности подшипника.



-подшипники качения, у которых трение скольжения заменяют трением качения посредством установки шариков или роликов между опорными поверхностями подшипника и вала.

В зависимости от направления воспринимаемой нагрузки различают подшипники :  
**радиальные**, служат для восприятия радиальных нагрузок;  
**упорные**, или подпятники, служащие для восприятия осевых нагрузок - вдоль геометрических осей валов;  
**радиально-упорные**, служащие для восприятия одновременно радиальных и осевых нагрузок.



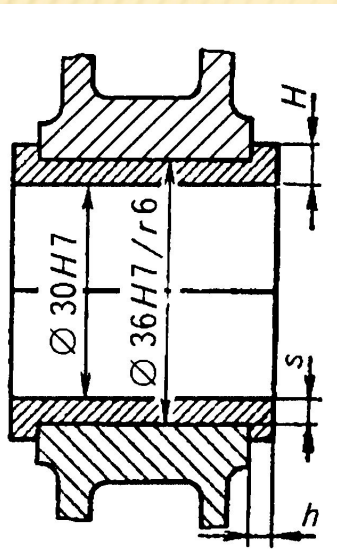
# ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ

---

Подшипники скольжения имеют ограниченное применение по сравнению с подшипниками качения и применяются в следующих случаях:

- для очень быстроходных валов (долговечность подшипников качения очень мала);
- для точной установки валов и осей;
- для валов очень большого диаметра (нет подшипников качения);
- для обеспечения условий сборки, когда подшипники должны быть разъемными, например, для коленчатого вала;
- при работе подшипников в воде, агрессивной среде и т.п. (подшипники качения неработоспособны );
- для тихоходных валов неответственных механизмов, когда подшипники скольжения оказываются проще по конструкции и дешевле подшипников качения.
- **Недостатки:**
- требуют постоянного надзора за состоянием смазки и нагревом;
- значительные потери в период пуска и плохой смазки;
- большой расход смазочного материала;

# ВКЛАДЫШИ



Основным элементом подшипника является вкладыш .

Их устанавливают в специальном корпусе подшипника или непосредственно в корпус машины (станине, раме и т.д.).

Конструкции подшипников скольжения разнообразны и зависят от конструкции машины, в которой устанавливают подшипник. Чаще всего подшипники не имеют специального корпуса и их размещают непосредственно в станине или раме машины.

Корпус и вкладыш могут быть неразъемными или разъемными.

Разъем вкладыша выполнен перпендикулярно к нагрузке или

близко к этому положению. При этом не нарушается непрерывность несущего масляного слоя.

Неразъемные подшипники проще по конструкции и дешевле разъемных, но они неудобны при монтаже осей и валов. Поэтому эти подшипники обычно применяют для кольцевых цапф осей и валов небольших размеров.

Разъемные подшипники очень удобны при монтаже осей и валов и допускают регулировку зазоров в подшипнике путем сближения крышки и основания. Поэтому преимущественное применение имеют разъемные подшипники скольжения.

# МАТЕРИАЛЫ ВКЛАДЫША

Изнашиванию должен подвергаться вкладыш, а не цапфа вала, так как замена вала значительно дороже вкладыша.

Требования к вкладышам:

- 1) Достаточная износостойкость и высокая сопротивляемость заеданию.
- 2) Низкий коэффициент трения и высокая теплопроводность.
- 3) Высокая сопротивляемость хрупкому разрушению при действии ударных нагрузок и длительное сопротивление усталости.

**Бронзы** – оловянные, свинцовые, кремниевые, алюминиевые. Обладают высокими механическими характеристиками, но плохо прирабатываются и окисляют масло.

**Чугун** – хорошие антифрикционные свойства, но прирабатывается хуже, чем бронза (тихоходные и слабонагруженные подшипники). Наиболее применяемые – А4С – 1.

**Баббит** – на оловянной, свинцовой и др. основах – лучший материал для подшипников скольжения. Хорошо прирабатываются, мало изнашивает вал, стоек против заедания, не окисляет масло. Отрицательное свойство – хрупкость и высокая стоимость.

**Пластмассы** – на древесной (дсп) или хлопчатобумажной основе – текстоне. Дерево, резина и другие материалы могут работать при водяной смазке (гидротурбины).

Капроны – тонкий слой наносят на рабочую поверхность металлического вкладыша.

Металлокерамический вкладыш – прессованием при высоких температурах порошков бронзы или железа с добавлением графита, меди, олова или свинца. Неметаллические материалы устойчивы против заедания, хорошо прирабатываются, могут работать при смазывании водой, что имеет существенное значение подшипников насосов, пищевых машинах и т.д.



# ВИДЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ

---

Работа сил трения в опоре расходуется на нагрев и износ ее деталей.

Подшипники, работающие в режиме гидродинамического трения, изнашиваются только в периоды пуска и остановки машины, когда в клиновые зазоры вследствие малой относительной скорости не создается необходимое давление для образования толстого слоя смазки, разделяющего твердые поверхности.

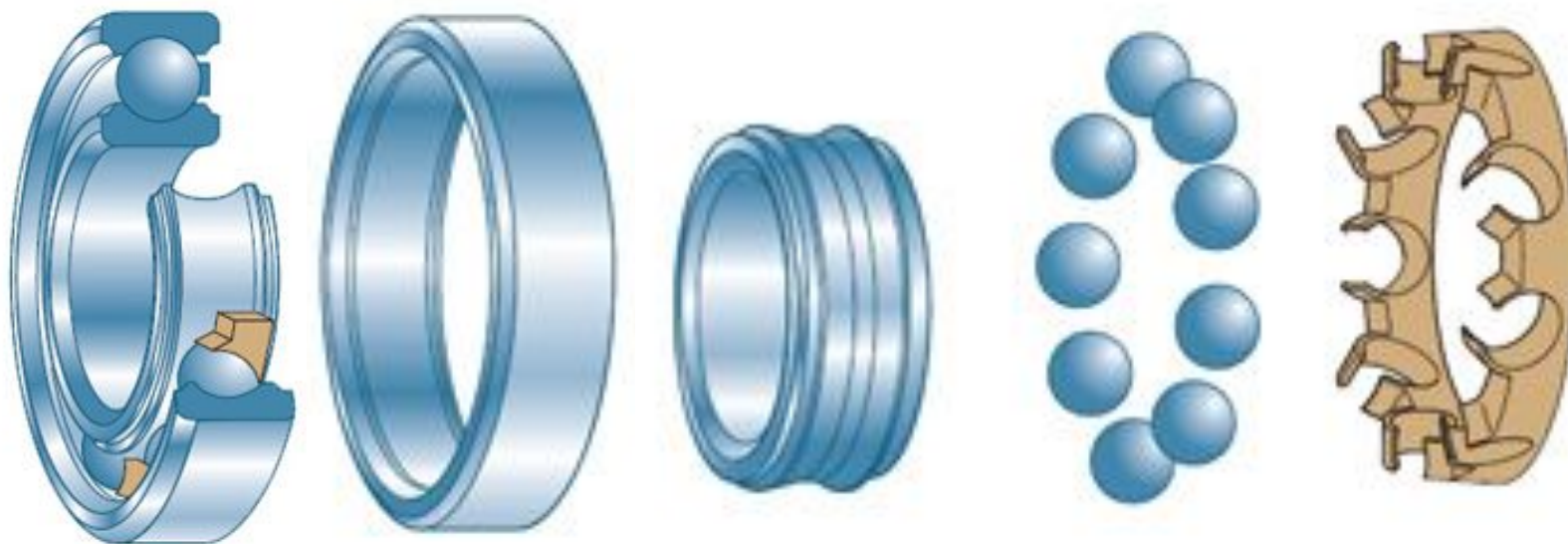
При превышении установленных скоростей, недостатке смазки или больших давлениях возрастает температура подшипника и наступает заедание – наиболее опасный вид разрушения.

При действии переменных нагрузок (например, в поршневых двигателях) поверхность вкладыша может выкрашиваться вследствие усталости.

**Обеспечение режима жидкостного трения является основным критерием расчёта большинства подшипников скольжения. При этом одновременно обеспечивается**

# ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Подшипники являются опорами валов, осей и других вращающихся деталей машин. Подшипник представляет собой сборочную единицу, состоящую из тел качения (шариков или роликов), отделенных равномерно друг от друга сепаратором и располагающихся между кольцами.



# КЛАССИФИКАЦИЯ

По направлению действия воспринимаемой нагрузки подшипники качения делятся на:

радиальные;  
упорные;  
радиально-упорные и упорно-радиальные.

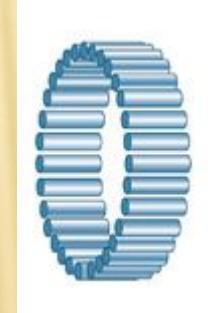
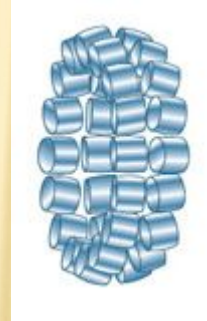
По форме тел качения на:

шариковые;



роликовые:

цилиндрические короткие, конические, бочкообразные, игольчатые и витые.



По числу рядов тел качения на:

одно-; двух-; четырех- и многорядные.

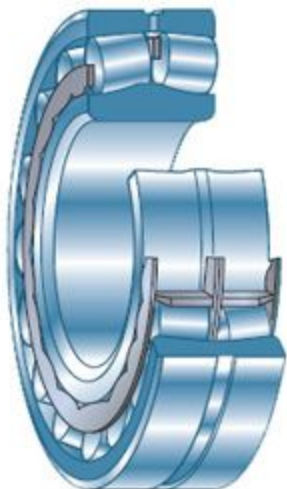
По способности самоустанавливаться на:

самоустанавливающиеся (сферические);  
несамоустанавливающиеся.

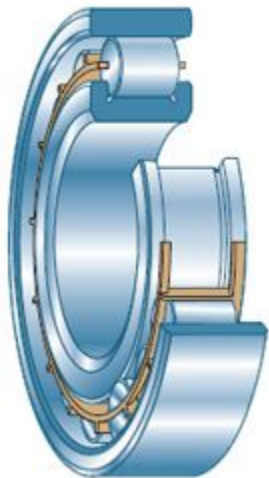
# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ



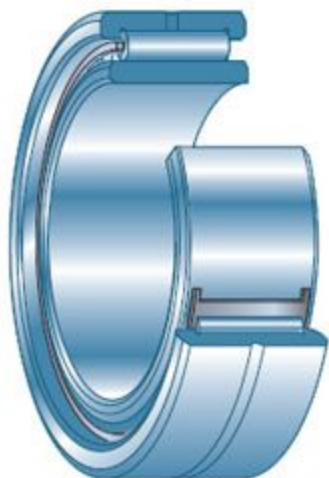
**Шариковый радиальный однорядный подшипник** самый распространенный в машиностроении. Предназначен для восприятия в основном радиальной нагрузки. Желобчатые дорожки качения позволяют воспринимать осевые нагрузки, действующие в обоих направлениях вдоль оси вала. Обеспечивает осевое фиксирование вала в двух направлениях. Он дешев, допускает достаточно большой перекос внутреннего кольца относительно наружного (до  $0^{\circ} 10'$ ). При одинаковых габаритных размерах работает с меньшими потерями на трение и при большей частоте вращения вала, чем подшипники всех других конструкций.



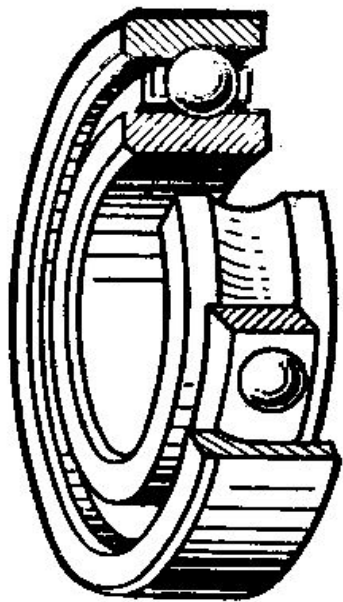
**Шариковый и роликовый радиальный сферический двухрядный подшипники** предназначены для радиальной нагрузки. Одновременно с радиальной может воспринимать небольшую осевую нагрузку обоих направлений. Дорожка качения на наружном кольце обработана по сфере. Поэтому подшипник способен работать при значительном (до  $2...3^{\circ}$ ) перекосе внутреннего кольца относительно наружного. Способность самоустанавливаться и определяет область его применения.



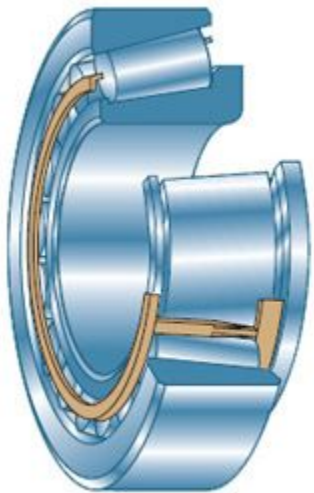
**Роликовый радиальный подшипник с короткими цилиндрическими роликами** воспринимает большие радиальные нагрузки, обладает значительно большей радиальной грузоподъемностью, чем шариковый радиальный однорядный равных габаритных размеров. Допускает осевое взаимное смещение колец. Чувствителен к относительному перекосу внутреннего и наружного колец (при перекосе возникает концентрация напряжений у краев ролика). Подшипник устанавливают на жестких коротких валах при повышенных требованиях к соосности посадочных мест. Применяют в качестве «плавающих опор» (для валов шевронных шестерен и др).



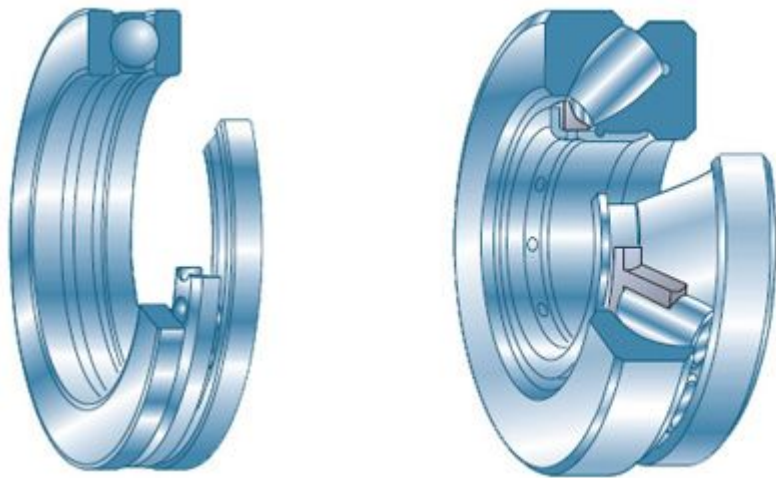
**Роликовый радиальный игольчатый однорядный подшипник** воспринимает только радиальную нагрузку. При сравнительно небольших диаметральных размерах обладает высокой радиальной грузоподъемностью. Из-за отсутствия сепаратора характеризуется высокими потерями на трение между иглами и низкой предельной частотой вращения. Перекос внутреннего кольца относительно наружного недопустим. Обычно используют для работы в режиме качательного движения



**Шариковый радиально-упорный однорядный подшипник** предназначен для восприятия комбинированных (радиальных и осевых) нагрузок. Способность воспринимать осевую нагрузку зависит от угла контакта  $\alpha$ : с увеличением угла контакта возрастает воспринимаемая подшипником односторонняя осевая нагрузка. Подшипники, смонтированные попарно, воспринимают осевые силы, действующие в обоих направлениях. При монтаже требует регулировки осевого зазора.



**Роликовый конический подшипник** воспринимает одновременно радиальную и одностороннюю осевую нагрузки. Обладает большой грузоподъемностью. По применению в машиностроении стоит на втором месте после шариковых радиальных однорядных. Чувствителен к относительному перекосу внутреннего и наружного колец. Подшипники устанавливают попарно на жестких коротких валах при повышенных требованиях к соосности посадочных мест. Применяют при средних и низких частотах вращения. При монтаже требует регулировки осевого зазора.



**Шариковый и роликовый упорный подшипники** воспринимают одностороннюю осевую нагрузку. Для восприятия осевых сил попеременно в обоих направлениях устанавливают двойные упорные подшипники. Во избежание заклинивания шариков от действия центробежных сил эти подшипники применяют при средней и низкой частоте вращения.

## **материалы деталей подшипников**

**Тела качения и кольца** изготавливают из специальных шарикоподшипниковых высокоуглеродистых хромистых сталей ШХ15, Ш20СГ, а также из цементуемых легированных сталей 18ХГТ, 20Х2Н4А. Кольца имеют твердость  $H = 61...66 \text{ HRC}$ , тела качения  $H = 63...67 \text{ HRC}$ . Витые ролики изготавливают навиванием из стальной полосы.

**Сепараторы** чаще всего штампуют из мягкой углеродистой стали. Для высокоскоростных подшипников сепараторы изготавливают массивными из текстолита, фторопласта, латуни, бронзы. Материалы перечислены в порядке увеличения быстроходности подшипников.

## **ДОСТОИНСТВА:**

МАЛЫЕ ПОТЕРИ НА ТРЕНИЕ;

ВЫСОКИЙ КПД (ДО 0,995);

НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ НАГРЕВ;

ВЫСОКИЕ НАДЕЖНОСТЬ И НАГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ;

МАЛЫЕ ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ В ОСЕВОМ НАПРАВЛЕНИИ;

НЕВЫСОКАЯ СТОИМОСТЬ ВСЛЕДСТВИЕ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА;

ВЫСОКАЯ СТЕПЕНЬ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ;

ПРОСТОТА В ЭКСПЛУАТАЦИИ И МАЛЫЙ РАСХОД СМАЗКИ.

## **Недостатки:**

пониженная долговечность при ударных и вибрационных нагрузках ;

большое рассеивание долговечности из-за неодинаковых зазоров в подшипнике;

ограниченная быстроходность из-за чрезмерного нагрева и опасности разрушения сепараторов от действия центробежных сил;

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

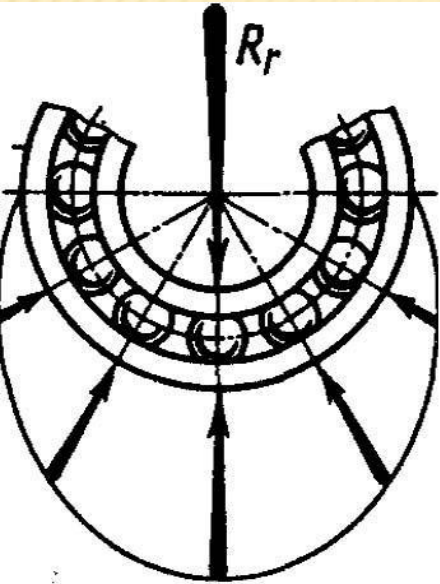
относительно большие радиальные размеры;

неразъемность конструкции;

шум при больших оборотах.



# ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА



Радиальная нагрузка  $A''$ , действующая на подшипник, нагружает тела качения. Одна половина подшипника не нагружена, а в другой нагрузка распределяется между телами качения в зависимости от угла, радиального зазора в подшипнике и точности геометрической формы его деталей. При работе подшипника в каждой точке контакта тел качения с внутренним и наружным кольцами возникают контактные напряжения, которые измеряются по нулевому циклу. Напряжения на внутреннем кольце больше, чем на наружном, так как на внутреннем кольце шарик соприкасается с выпуклой поверхностью (меньше площадь контакта), а на наружном - с вогнутой (больше площадь контакта).

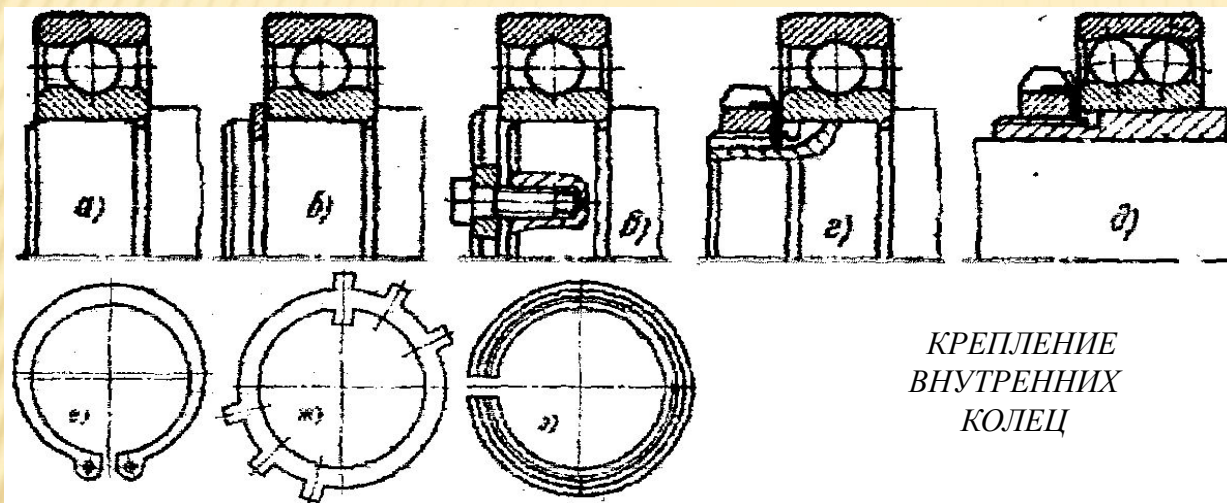
Таким образом, для повышения долговечности подшипников целесообразно иметь вращающееся внутреннее кольцо и неподвижное наружное кольцо.

Циклическое перекачивание тел качения приводит к появлению усталостной микротрещины. Постоянно прокатывающиеся тела качения вдавливают в нее смазку. Пульсирующее давление смазки расширяет и расшатывает микротрещину, приводя к **усталостному выкрашиванию** и к поломке кольца. Усталостное выкрашивание – основной вид выхода из строя подшипников качения. В подшипниках также возможны статические и динамические перегрузки, разрушающие как кольца, так и тела качения. Работоспособность подшипника сохраняется при соблюдении двух критериев:

долговечность;  
грузоподъемность.

# КРЕПЛЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ НА ВАЛУ И В КОРПУСЕ

Для восприятия осевых нагрузок кольца подшипника закрепляют на валу и в корпусе.



*КРЕПЛЕНИЕ  
ВНУТРЕННИХ  
КОЛЕЦ*

Для закрепления внутренних колец на валу применяются различные средства:  
уступы вала (а);  
пружинные стопорные кольца (б,е);  
торцовые шайбы (в);  
упорные гайки (г,ж);

Для фиксации наружных колец применяют:

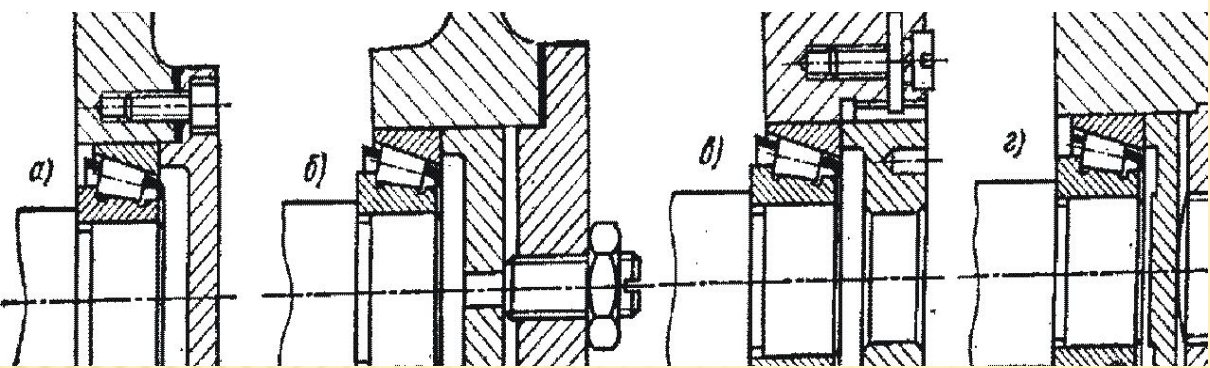


*КРЕПЛЕНИЕ НАРУЖНЫХ КОЛЕЦ*

уступы в корпусе и стакане (а); крышки (б);  
крышки и уступы (в,г);  
упорные борта (д);  
врезные крышки при разъёмных корпусах (е);  
пружинные кольца (ж,з).

Радиально-упорные подшипники требуют осевого регулирования, которое делается

смещением наружного кольца:  
**ОСЕВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКОВ**

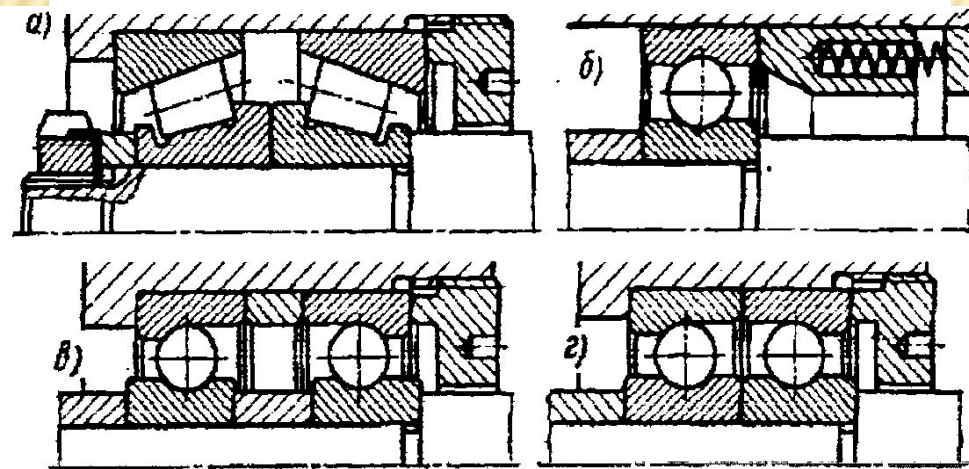


прокладками из металла (а);  
креплёжным винтом (б,г) при  
малых осевых силах;  
резьбовой крышкой или  
кольцом (в).

### Жёсткость подшипников и их предварительный натяг

Деформации подшипников качения примерно равны деформациям валов.  
Поддержание высокой жёсткости подшипниковых узлов обеспечивает точность  
вращения системы. Максимальную жёсткость имеют точные роликоподшипники.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАТЯГ ПОДШИПНИКОВ**



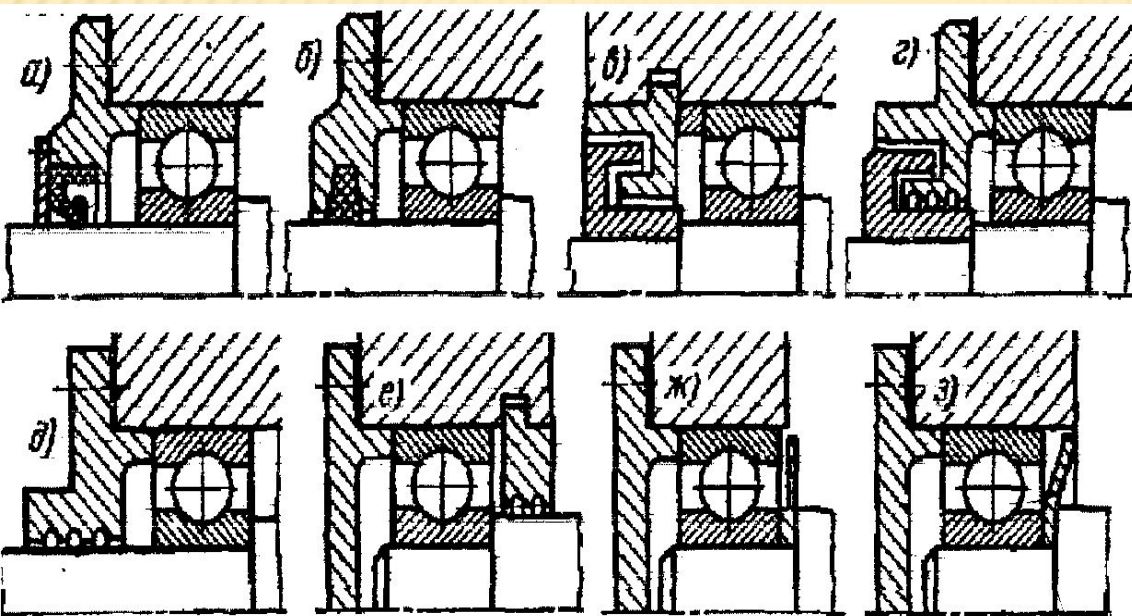
Жёсткость увеличивается  
предварительным натягом, суть  
которого в выборке зазоров и начальном  
сжатии тел качения. Это достигается  
взаимным осевым смещением колец  
посредством:  
затяжки резьбы (а);  
пружинами (б);  
установкой втулок (в);

шлифовкой торцов колец (г).

Излишний преднатяг приводит к усилению износа сепаратора из-за набегания на  
него части тел качения и отставания другой части из-за разных их диаметров.

# УПЛОТНЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Это специальные детали, выполненные из мягких упругих материалов (мягкие металлы, резина, пластмасса, войлок и т.п.), которые предотвращают вытекание смазки из подшипниковых узлов и попадание в них загрязнения.



УПЛОТНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

По принципу действия уплотнения разделяются на: контактные манжетные, войлочные, с металлическими кольцами (а,б), применяются на низких и средних скоростях, дают плотный контакт подвижных и неподвижных деталей;

щелевые и лабиринтные, препятствуют протеканию

жидкостей и даже газа через каскад щелей и камер (в,г,д,е), так, типовая букса грузового вагона имеет четырёхкамерное лабиринтное уплотнение;

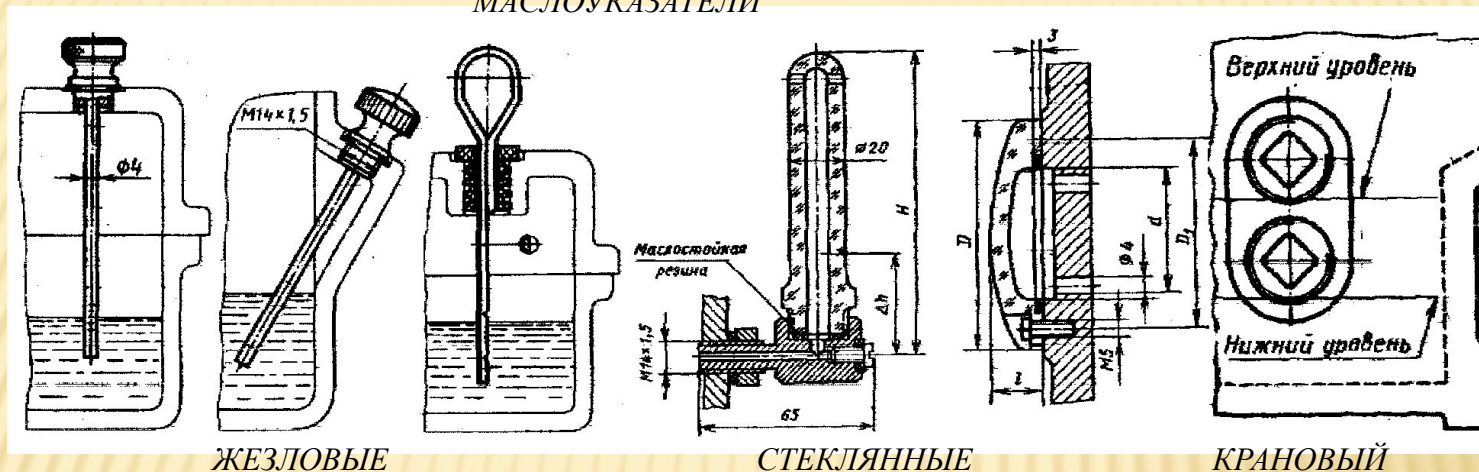
центробежные (ж,з);

комбинированные.

Известны конструкции подшипников со встроенными уплотнениями.

В дальнейшем обычно через каждые три месяца через специальные устройства (пресс-маслёнки) добавляют свежую смазку, а через год её меняют с предварительной разборкой и промывкой узла. При консистентной смазке необходимо применение щелевых, лабиринтных и центробежных уплотнений.

### МАСЛОУКАЗАТЕЛИ



Жидкие смазки применяются при более высоких температурах, когда густые плавятся и вытекают. Обеспечивают минимальные потери на трение. Обычный способ в случае нижнего расположения червяка – организация масляных ванн (например, картер двигателя и т.п.), в которых масло налито до уровня нижнего тела качения. В зубчатых передачах колёса погружают не более чем на высоту зуба, во избежание больших потерь на перемешивание масла. Уровень масла контролируется щупом - маслоуказателем, как, например, в двигателях легковых автомобилей.

Разбрызгивание масла внутри корпуса механизмов происходит с помощью специальных лопастей-крыльчаток либо зубчатых колёс и применяется для создания масляного тумана, который способствует выравниванию температуры и теплоотводу от механизма.

# МУФТЫ

---



Муфты служат для соединения валов или валов с деталями, свободно вращающимися на них (зубчатыми колесами, шкивами и т.п.), с целью передачи вращения без изменения скорости

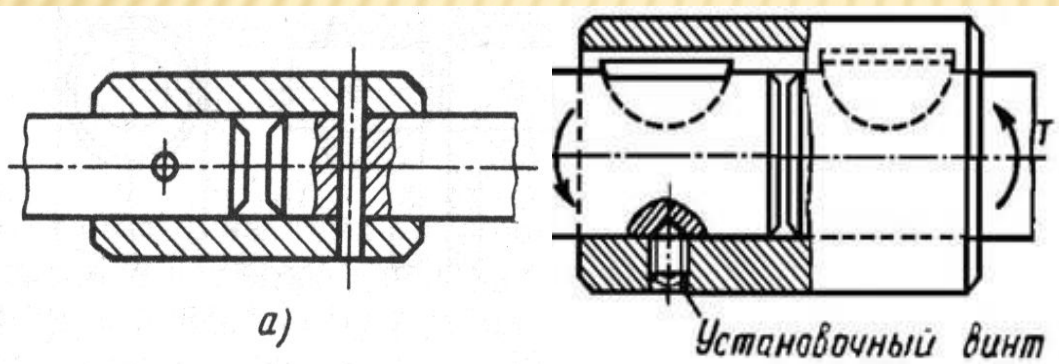
**Глухие жесткие муфты** используют при передаче движения между соосными валами, которые должны работать как единый вал.

**Компенсирющие подвижные муфты** применяют при передаче движения между несоосными валами при наличии небольших радиальных, осевых, угловых или комбинированных смещений осей валов.

**Упругими муфтами** пользуются для смягчения толчков, динамических нагрузок при передаче вращающегося момента между валами.

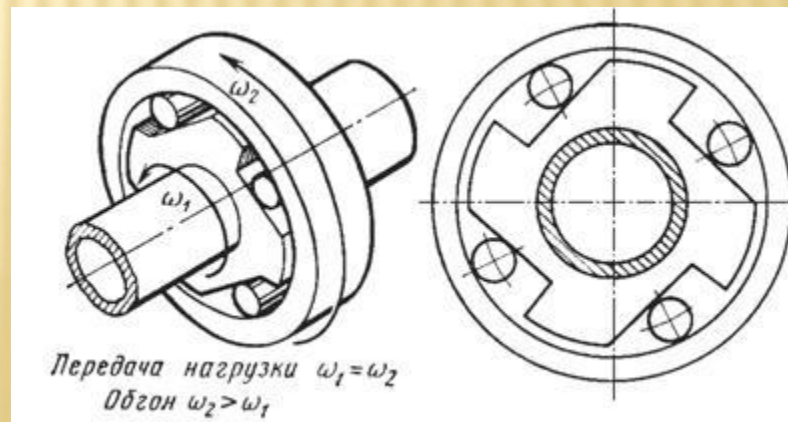
**Предохранительные муфты** применяют во избежание поломок деталей механизма из-за перегрузок.

**Обгонные муфты** используют для передачи движения только в одну сторону

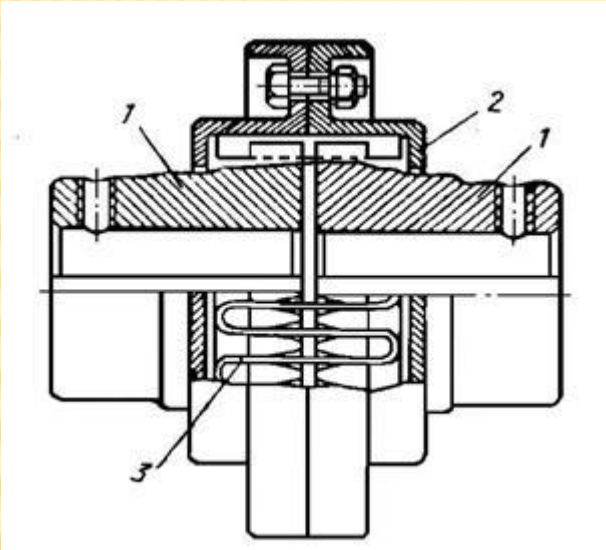


Втулочные муфты со:  
а – штифтами; б – шпонками

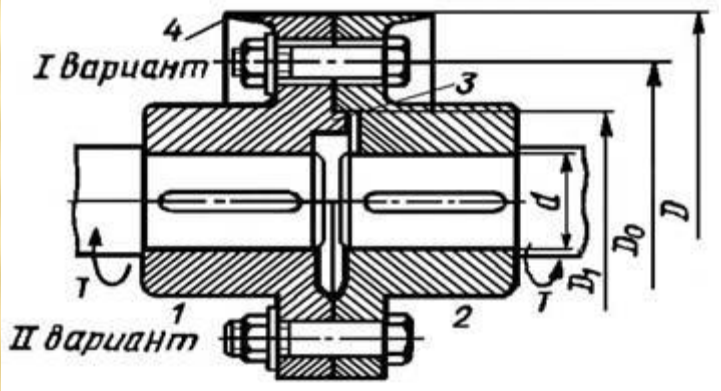
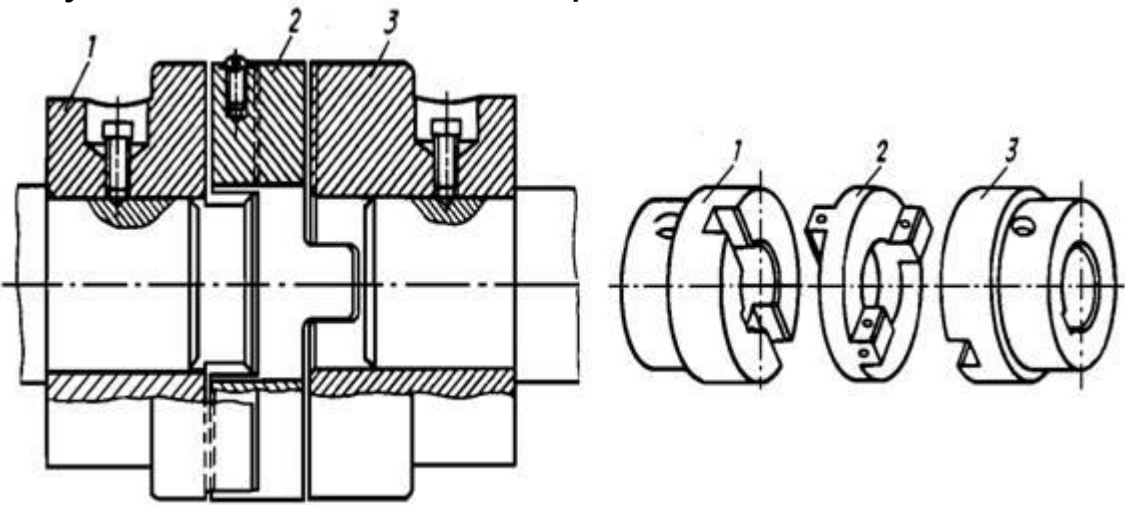
Обгонная муфта



# Муфта со змеевидными пружинами



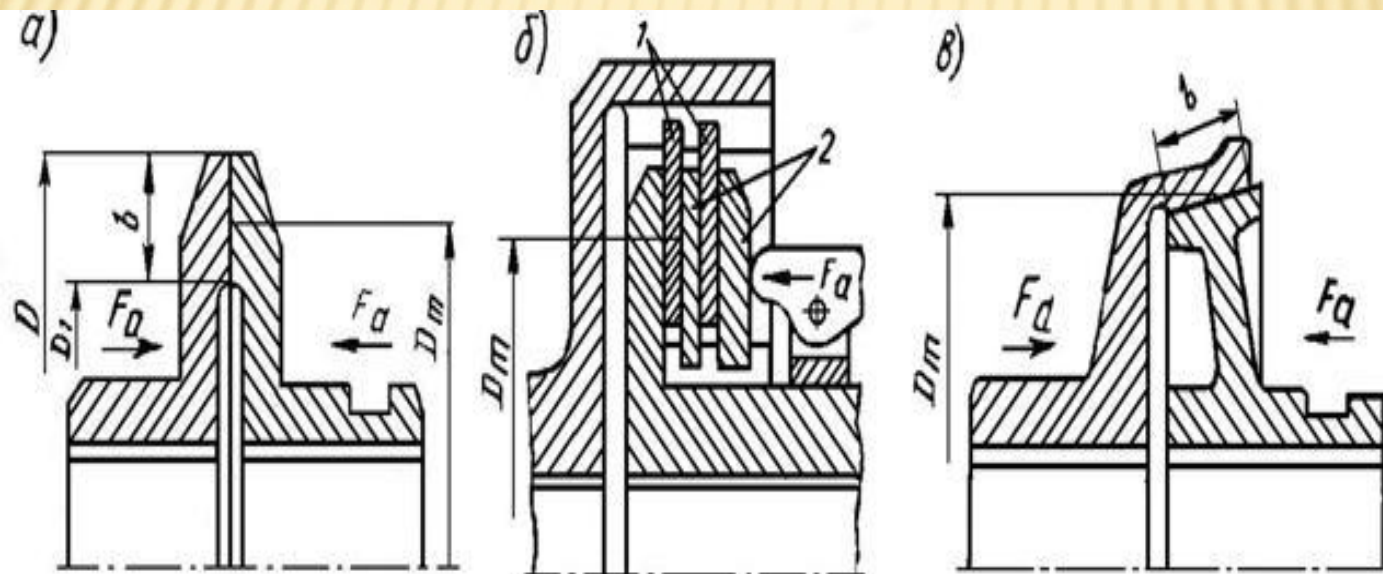
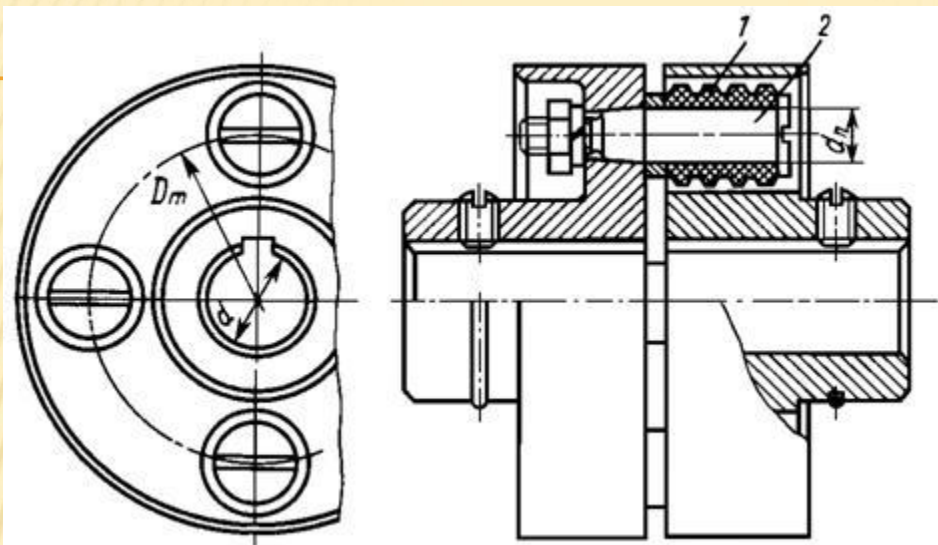
# Жесткая компенсирующая муфта Купцово-дисксовая муфта



# . Фланцевая муфта



# Упругая втулочно-пальцевая муфта



Фрикционные муфты:  
а – однодисковая;  
б – многодисковая;  
в – конусная