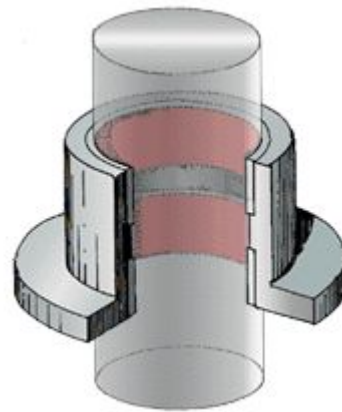




**Подшипниковые узлы,
их надежность и долговечность**

Подшипниковые узлы, их надежность и долговечность



Подшипники скольжения

ПОДШИПНИКИ – ОПОРЫ ВАЛОВ И ОСЕЙ

Назначение опор – направлять движение поддерживаемых ими валов и осей и воспринимать действующие на эти детали усилия.

Опоры воспринимают:

- радиальную нагрузку F_r (*подшипники*),
 - осевую F_a (*подпятники*)
- и передают их на корпус или раму машины.

"подшипники" – это универсальный термин!

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

«Подшипник – опора или направляющая, которая определяет положение движущихся частей по отношению к другим частям механизма» ГОСТ 24955-81

«Подшипник – опора или направляющая, которая определяет положение движущейся части относительно других частей механизма» ГОСТ ИСО 4378-1-2001

Подшипники - это технические устройства, являющиеся частью опор вращающихся осей и валов. Они воспринимают радиальные и осевые нагрузки, приложенные к валу или оси, и передают их на раму, корпус или иные части конструкции. При этом они должны также удерживать вал в пространстве, обеспечивать вращение, качение или линейное перемещение с минимальными энергопотерями. От качества подшипников в значительной мере зависит коэффициент полезного действия, работоспособность и долговечность машины.

В настоящее время широко находят применение подшипники:

- контактные (имеющие трущиеся поверхности) - **подшипники качения и скольжения;**
- бесконтактные (не имеющие трущихся поверхностей) - **магнитные подшипники и воздушные (с газовой смазкой).**

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДШИПНИКОВ

1. По виду трения:

- 1.1. *Подшипники скольжения*, у которых шейка вала скользит по поверхности подшипника; поверхности трения разделены слоем смазки различной толщины.
- 1.2. *Подшипники качения*, у которых между опорными поверхностями устанавливают шарики или ролики, снижающие потери на трение.

2. По воспринимаемой нагрузке:

- 2.1. *Радиальные* – воспринимают радиальную нагрузку – F_r ;
- 2.2. *Упорные* – воспринимают осевую нагрузку – F_a ;
- 2.3. *Радиально–упорные* и
- 2.4. *Упорно–радиальные* – воспринимают радиальную и осевую нагрузки.

 **Все типы подшипников широко распространены!**

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДШИПНИКОВ

Подшипник качения

Подшипники качения работают преимущественно при трении качения и состоят из двух колец, тел качения, сепаратора, отделяющего тела качения друг от друга, удерживающего на равном расстоянии и направляющего их движение. По наружной поверхности внутреннего кольца и внутренней поверхности наружного кольца (на торцевых поверхностях колец упорных подшипников качения) выполняют желоба – дорожки качения, по которым при работе подшипника катятся тела качения.

Подшипник скольжения

Подшипник скольжения представляет собой корпус, имеющий цилиндрическое отверстие, в которое вставляется вкладыш или втулка из антифрикционного материала (часто используются цветные металлы), и смазывающее устройство. Между валом и отверстием втулки подшипника имеется зазор, который позволяет свободно вращаться валу. Для успешной работы подшипника зазор предварительно рассчитывается.

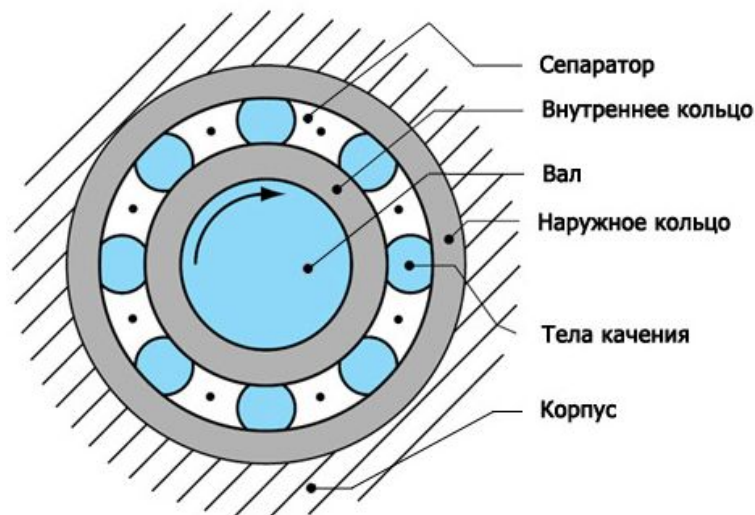


Рисунок: Принципиальная схема опоры с подшипником качения

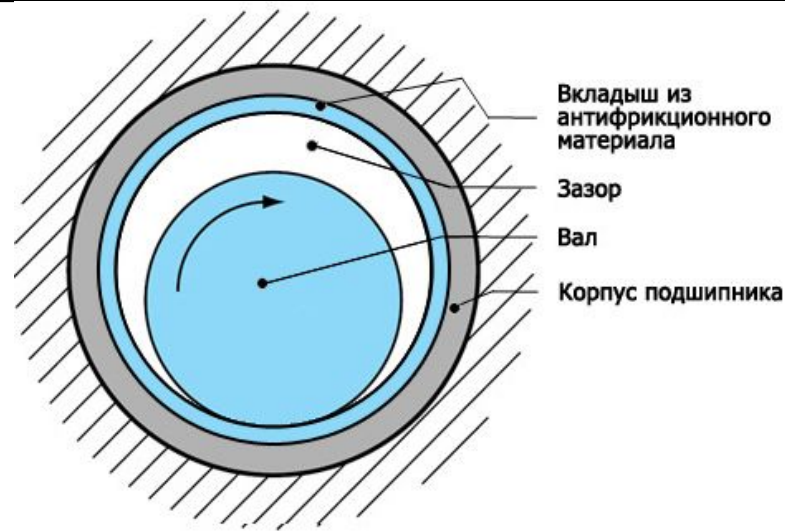


Рисунок: Принципиальная схема опоры с подшипником скольжения

ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Опора (направляющая) в которой трение происходит при скольжении сопряжённых поверхностей.

Определение по ГОСТ ИСО 4378-1-2001:

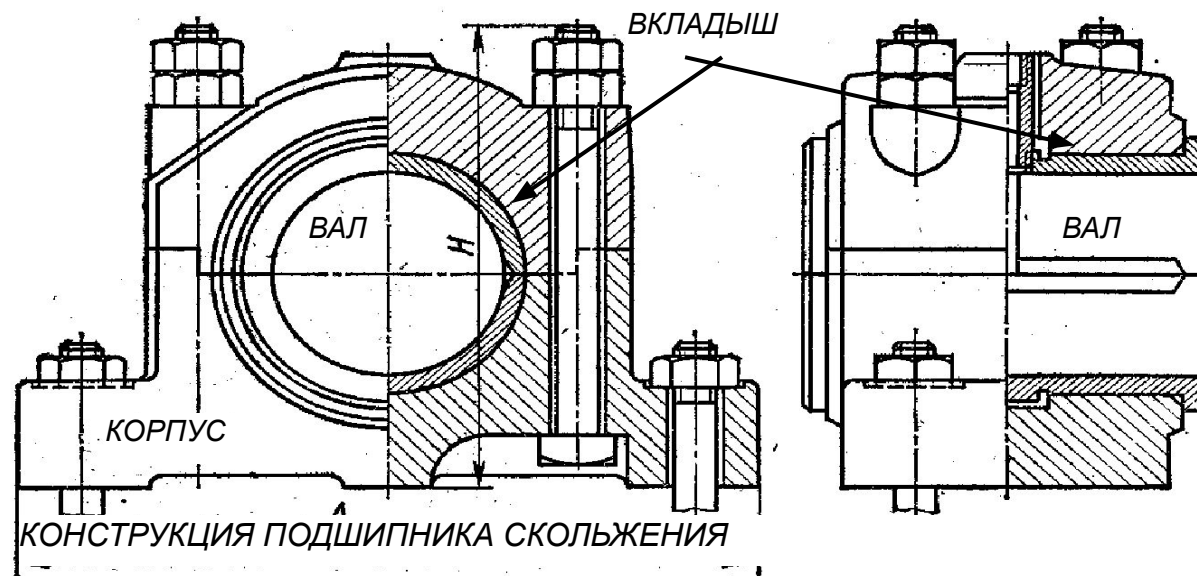
«Подшипник в котором видом относительного движения является движение скольжения»



По направлению восприятия нагрузки различают радиальные и осевые (упорные).

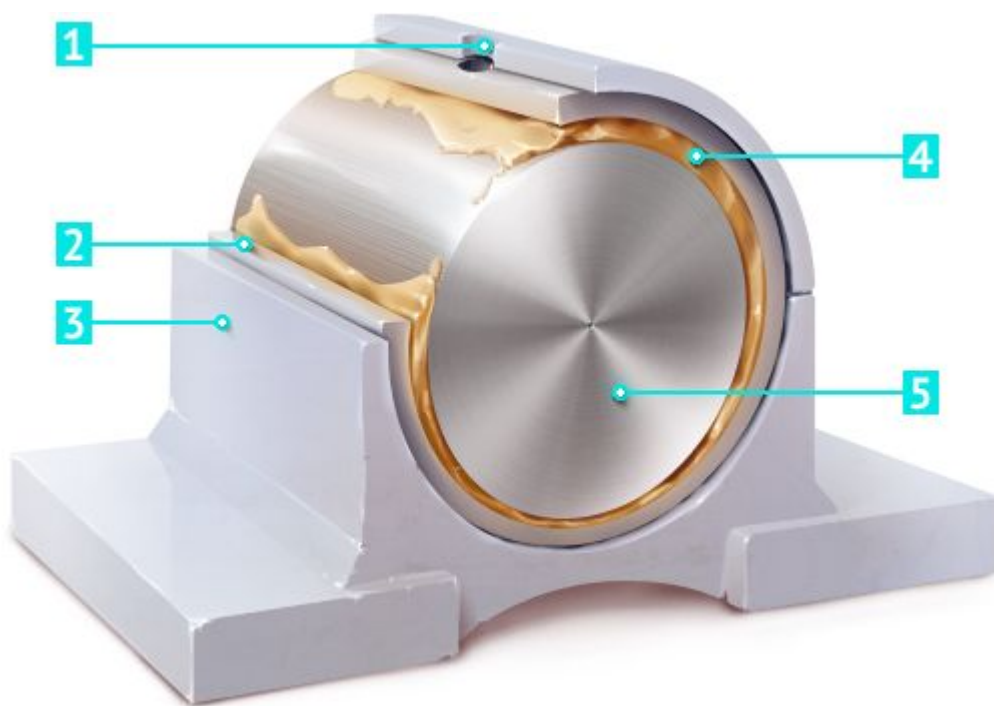
В зависимости от режима смазки делятся на гидродинамические и гидростатические, газодинамические и газостатические (роль смазки выполняет воздух или нейтральный газ), с твёрдой смазкой.

КОНСТРУКЦИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ



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.

КОНСТРУКЦИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ



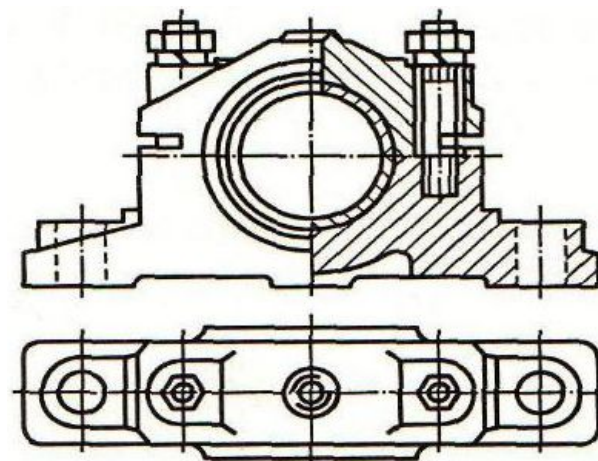
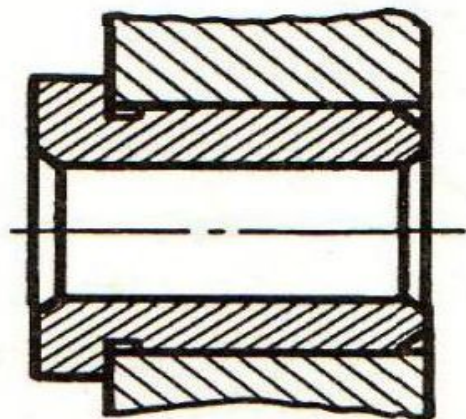
Радиальный подшипник скольжения представляет собой корпус, имеющий цилиндрическое отверстие, в которое вставляется рабочий элемент - вкладыш или втулка антифрикционного материала и смазывающее устройство. Между валом и отверстием втулки подшипника имеется зазор, заполненный смазочным материалом, который позволяет свободно вращаться валу.

- 1 – канал подачи смазочного материала;
- 2 – вкладыш;
- 3 – корпус;
- 4 – зазор, заполненный смазочным материалом;
- 5 – цапфа вала

КОНСТРУКЦИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Все подшипники скольжения, встречающиеся в машинах, можно разделить на две группы: **неразъемные** — в виде цельных втулок или в виде отверстий в корпусах, станинах или основаниях, залитых антифрикционными сплавами, и **разъемные** — с вкладышами и без вкладышей, корпуса которых заливают антифрикционным сплавом.

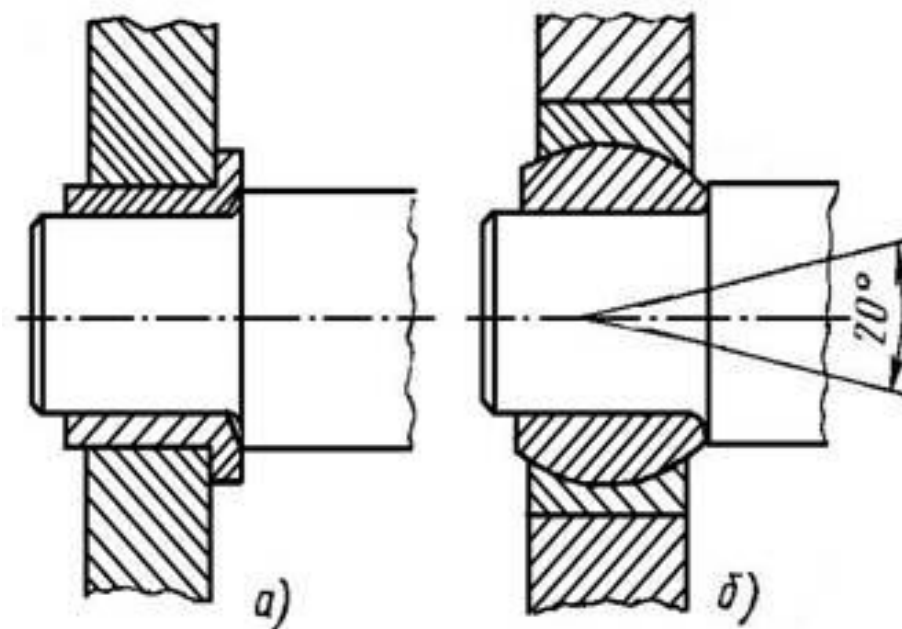
Неразъемные	Разъемные
<ol style="list-style-type: none"> 1. Целостный корпус. 2. Втулка. 3. Деталь соединения. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разборный корпус. 2. Вкладыши. 3. Деталь соединения.



КОНСТРУКЦИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Подшипник скольжения (рис. а) представляет собой втулку из износостойчивого материала (оловянистые бронзы, алюминиевые бронзы, металлографитовые сплавы и др.).

Втулка неразъемного подшипника может быть запрессована непосредственно в стенку корпуса. При возможных перекосах вала подшипник делают самоустанавливающимся (рис. б).

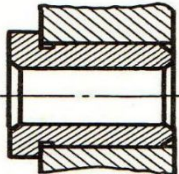
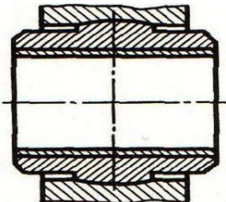
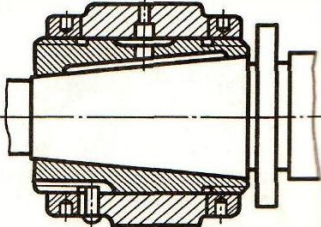
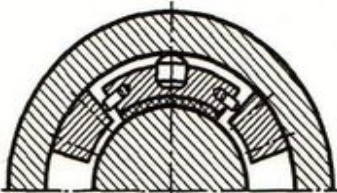
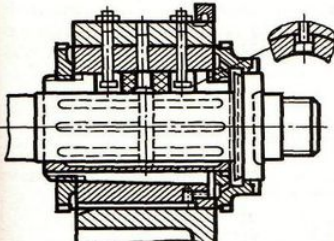

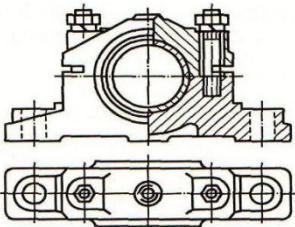
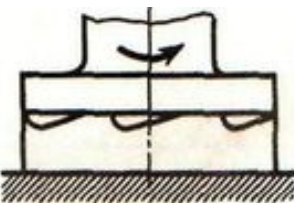


ТИПЫ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

- Неразъёмные нерегулируемые
- Неразъёмные регулируемые с внутренним конусом
- Неразъёмные регулируемые с наружным конусом
- Разъёмные
- Самоустанавливающиеся цельные
- Сегментные самоустанавливающиеся
- Многоклиновые цельные регулируемые
- Газостатические
- Гидростатические
- Гидро- и газодинамические



ТИПЫ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

	<p>Неразъемный нерегулируемый подшипник скольжения</p>		<p>Самоустанавливающийся цельный подшипник скольжения</p>
	<p>Неразъемный регулируемый подшипник скольжения с внутренним конусом</p>		<p>Самоустанавливающийся сегментный подшипник скольжения</p>
	<p>Неразъемный регулируемый подшипник скольжения с наружным конусом</p>		<p>Многоклиновой цельный регулируемый подшипник скольжения</p>
	<p>Разъемный подшипник скольжения</p>		<p>Подпятник</p>

ТРЕНИЕ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

Для правильной работы подшипников скольжения без износа поверхности цапфы и втулки должны быть разделены слоем смазки достаточной толщины.

В природе и технике встречаются следующие виды трения:

1. Полусухое, то есть не требующее или не имеющее смазочного материала, кроме влаги, адсорбированной поверхностью (капрон, фторопласт) либо при наличии твёрдой смазки: графит, углепластик и др. *Сухого трения в природе не существует.*

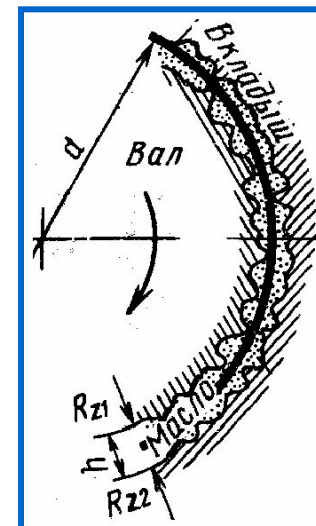
2. Граничное, характерное для работы со смазкой при малых скоростях скольжения при толщине граничных плёнок $0,1 \dots 0,3$ мкм.

3. Полужидкостное, при котором подшипники работают в условиях периодического или недостаточного смазывания, то есть занимают промежуточное положение между граничным и жидкостным трением. Коэффициент трения $f = 0,008 \dots 0,1$.

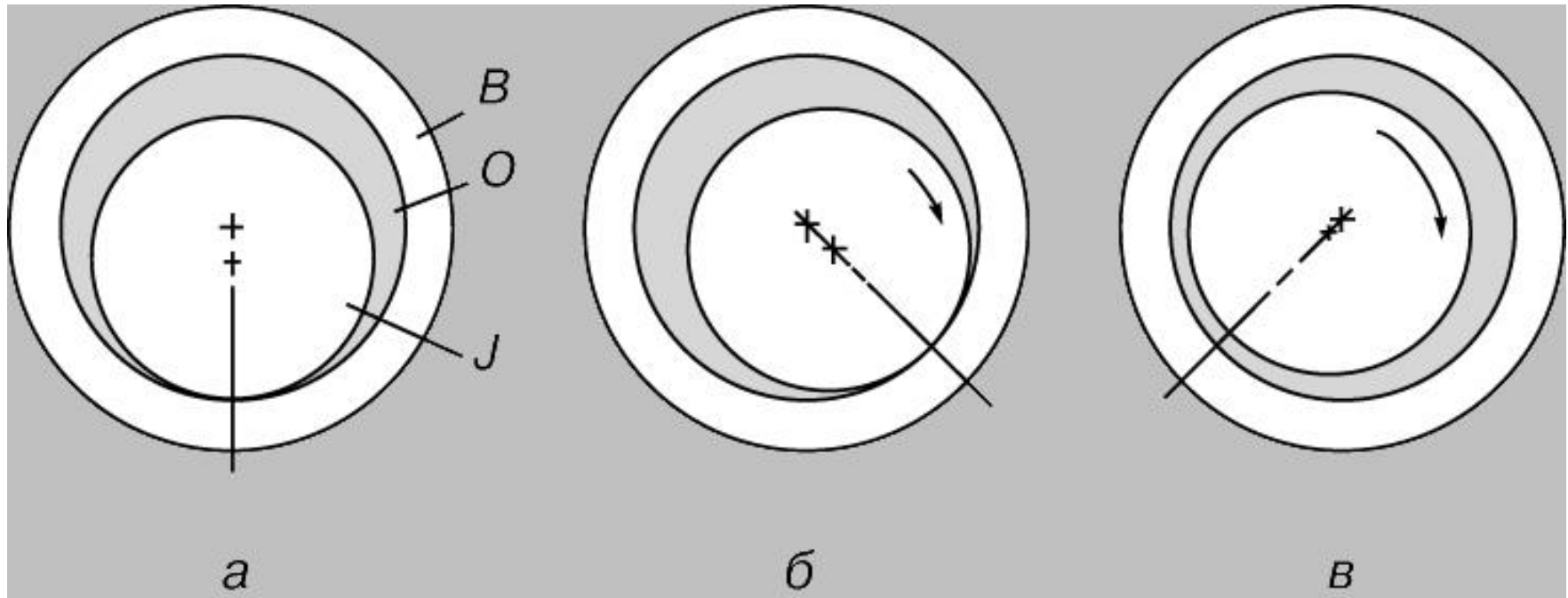
4. Жидкостное, при котором трущиеся поверхности **разделены слоем смазки**, толщина которой больше суммарной высоты неровностей обработки.

$$h > Rz1 + Rz2.$$

Соппротивление движению в этом случае определяется только внутренним трением в смазочной жидкости. Коэффициент трения $f = 0,001 \dots 0,005$



ФОРМИРОВАНИЕ СМАЗОЧНОЙ ПЛЕНКИ В ПОДШИПНИКЕ СКОЛЬЖЕНИЯ



В - подшипник, О - смазка, J - шип

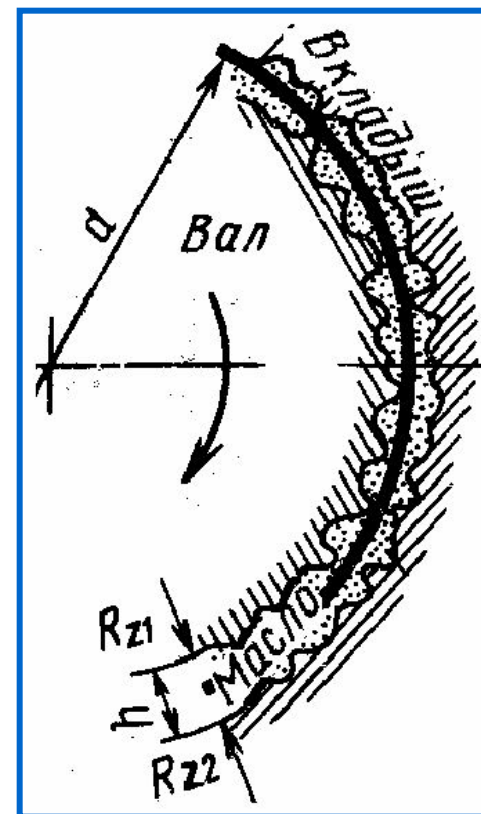
а - состояние покоя

б - начало движения, граничное трение;

в - установившийся режим, жидкостное трение.

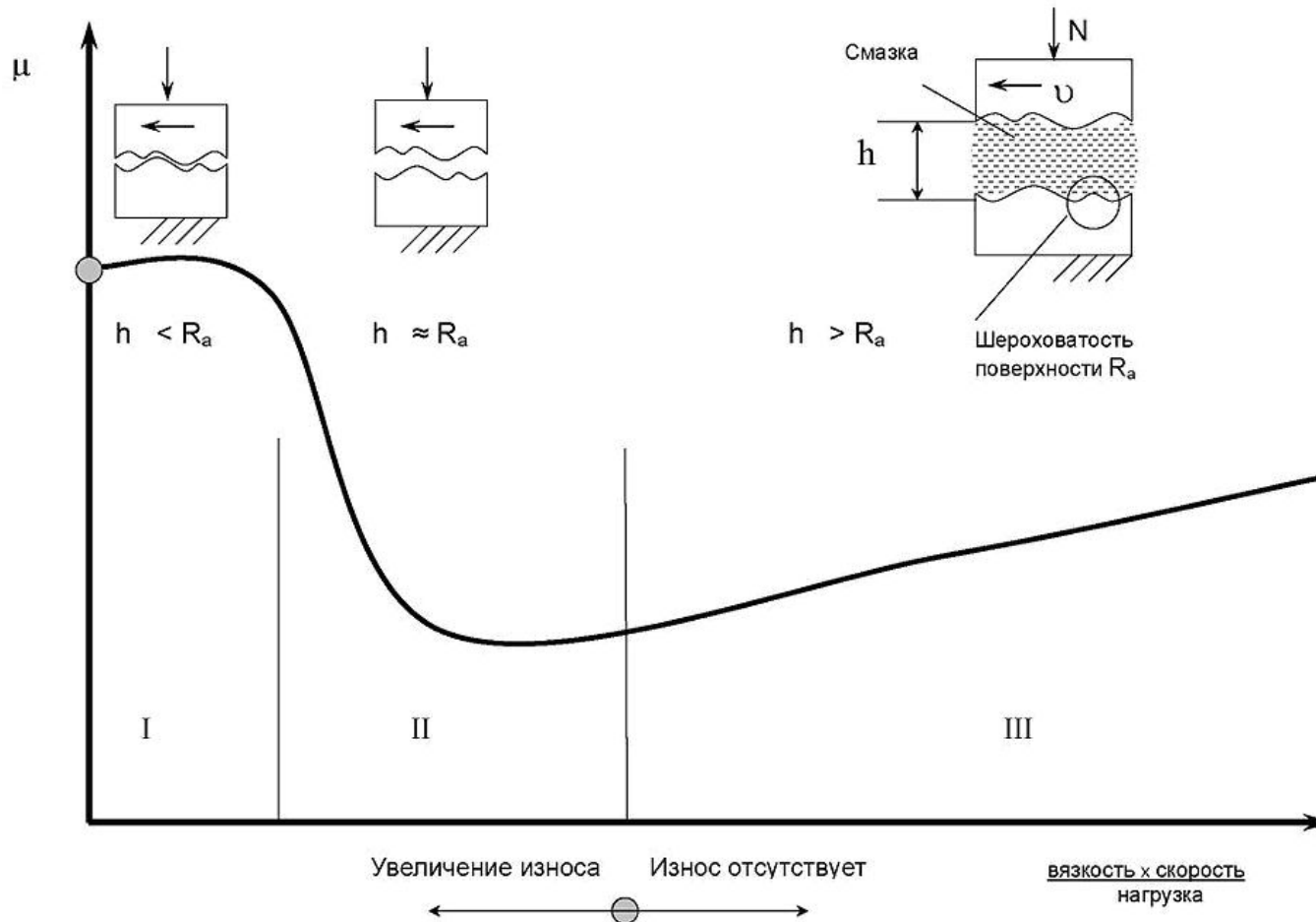
ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ

жидкостное трение, когда рабочие поверхности вала и вкладыша разделены слоем масла, толщина которого больше суммы высот шероховатости поверхностей; при этом масло воспринимает внешнюю нагрузку, изолируя вал от вкладыша, предотвращая их износ. Сопротивление движению очень мало;



полужидкостное трение, когда неровности вала и вкладыша могут касаться друг друга и в этих местах происходит их схватывание и отрыв частиц вкладыша. Такое трение приводит к абразивному износу даже без попадания пыли извне.

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ



В основу классификации подшипников скольжения положен анализ режимов работы подшипников по диаграмме Герси-Штребека

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ

Группа	Класс	Способ смазки	Вид трения	Примерный коэффициент трения	Назначение	Область применения
I (несовершенная смазка)	1	Малое количество, подача непостоянная	Граничное	0,1...0,3	Малые скорости скольжения и небольшие удельные давления	Опорные ролики транспортеров, ходовых колес мостовых кранов
II (несовершенная смазка)	2	Обычно непрерывная	Полужидкостное	0,02...0,1	Кратковременный режим с постоянным или переменным направлением вращения вала, малые скорости и большие удельные нагрузки	<ul style="list-style-type: none"> - Линейные и формовочные машины - Кузнечно-прессовое оборудование - Прокатные станы - Грузоподъемные машины
	3	Масляная ванна или кольца		0,001...0,02	Мало меняющиеся по величине и направлению усилия большие и средние нагрузки	<ul style="list-style-type: none"> - Буксы вагонов - Тяжелые станки - Мощные электрические машины - Тяжелые редукторы - Текстильные машины
		Под давлением				Переменная нагрузка
III (совершенная смазка)	4	Кольца, комбинированный или под давлением	Жидкостное	0,0005...0,005	Малые окружные скорости валов, особо тяжелые условия работы при переменных по величине и направлению нагрузках	<ul style="list-style-type: none"> - Электрические машины средней и малой мощности - Легкие и средние редукторы - Центробежные насосы и компрессоры - Прокатные станы
	5	Под давлением		0,005...0,05	Слабонагруженные опоры с большими скоростями скольжения	<ul style="list-style-type: none"> - Паровые котлы - Водяные турбины - Газовые турбины - Осевые вентиляторы - Турбокомпрессоры

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ

Два способа создания режима жидкостного трения:
гидростатический и гидродинамический:

В гидростатических подшипниках давление в поддерживающем слое смазочного материала (масле, воде, воздухе) создают насосом, подающим его в зазор между цапфой и подшипником.

Гидродинамическая теория смазки разработана Петровым Н.П., Жуковским Н.Е. Эта теория доказывает, что гидродинамическое давление может развиваться только **в суживающемся зазоре**, который принято называть клиновым.



ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ

Толщина масляного слоя является функцией характеристики рабочего режима подшипника:

$$h = f\left(\frac{\mu \omega}{p}\right),$$

μ – динамическая вязкость
 ω – угловая скорость
 p – давление

Из формулы следует, что толщина масляного слоя возрастает с увеличением вязкости масла и угловой скорости вала. С увеличением нагрузки толщина масляного слоя уменьшается.

Режим жидкостного трения нарушается, если значения ω и p выходят за допустимые пределы. Например, в периоды пусков и остановов, при переменных режимах нагрузки, что является существенным недостатком по сравнению с подшипниками качения.

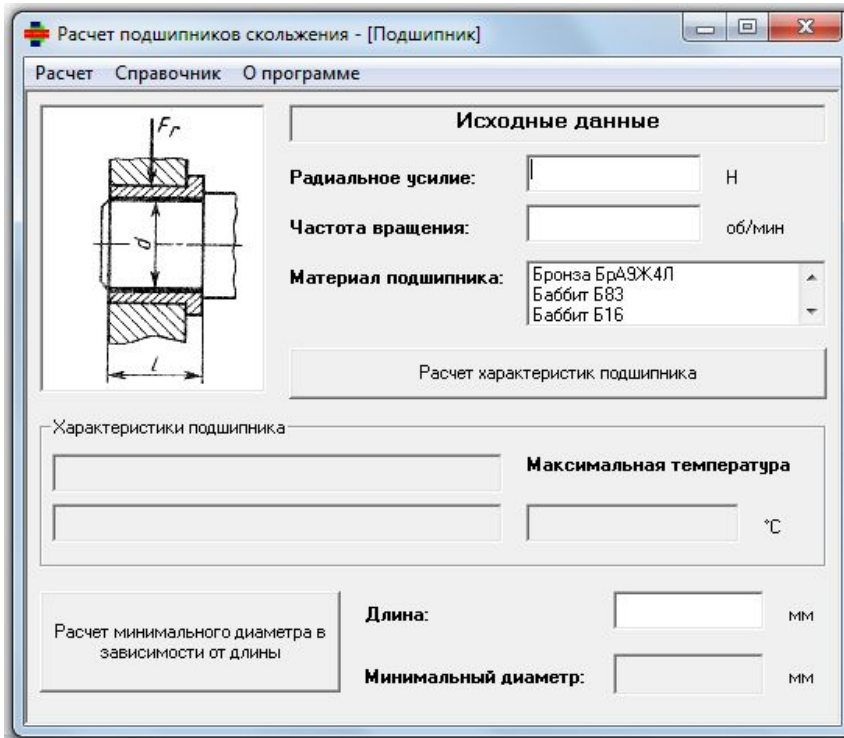
ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ ТРЕНИЯ

Для образования режима жидкостного трения необходимо соблюдать следующие условия:

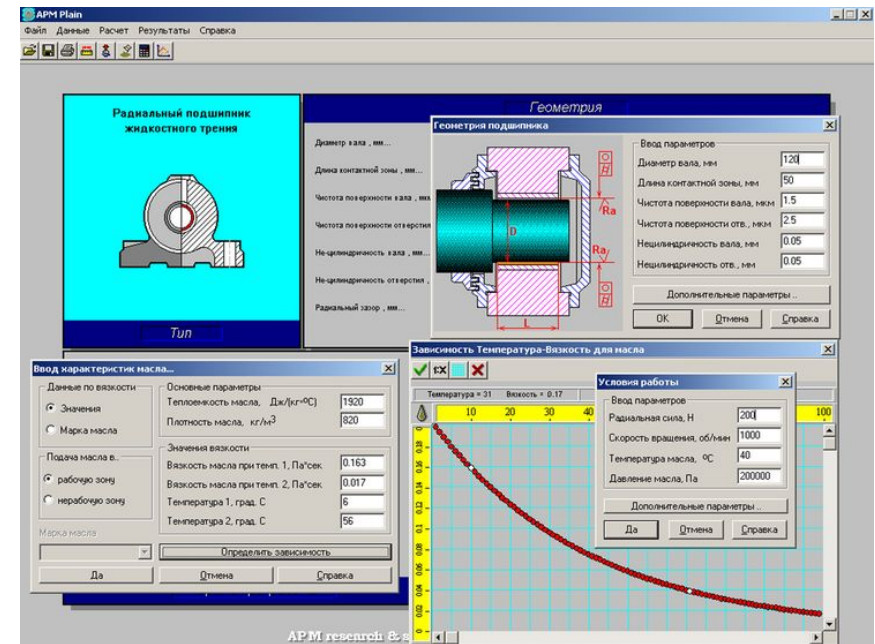
1. Между скользящими поверхностями должен быть **зазор клиновидной формы**.
2. **Масло** требуемой вязкости **должно непрерывно заполнять зазор**.
3. **Скорость** относительного движения поверхностей должна **быть достаточной** для того, чтобы в масляном слое создавалось давление, способное уравновесить внешнюю нагрузку.

Невыполнение любого из трёх условий способствует образованию граничного или полужидкостного трения!

РАСЧЕТ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

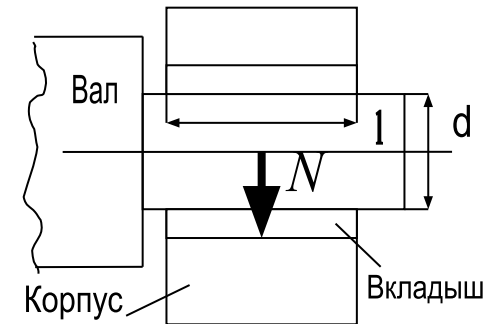


Расчет подшипников скольжения выполняется с помощью инженерных программ



РАСЧЕТ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Критерием прочности, а следовательно, и работоспособности подшипника скольжения являются контактные напряжения в зоне трения или, что, в принципе, то же самое – контактное давление.



Расчётное контактное давление сравнивают с допускаемым

$$p = N / (l d) \leq [p].$$

где N – сила нормального давления вала на втулку (реакция опоры),
 l – рабочая длина втулки подшипника, d – диаметр цапфы вала

Иногда удобнее сравнивать расчётное и допускаемое произведение давления на скорость скольжения. Скорость скольжения легко рассчитать, зная диаметр и частоту вращения вала.

$$pV = \frac{NV}{ld} = \frac{2\pi * ndN}{60ld * 2} = \frac{Nn\pi}{60l} \leq [pV] = 2 \div 10 \frac{Нм}{мм^2сек}.$$

Произведение давления на скорость скольжения характеризует тепловыделение и износ подшипника.

РАСЧЕТ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Основным критерием работоспособности и расчета подшипников скольжения является износостойкость.

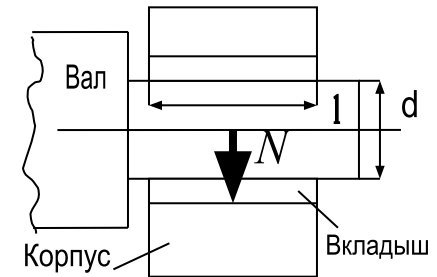
Износостойкость характеризуется параметрами **давления - p , скорости - u и произведения давления и скорости - pu** , являющимися по существу **критериями подобия**, обобщающими опыт эксплуатации подшипников. Так как режим жидкостного трения возможен в ограниченном числе случаев, методика его расчёта не рассматривается.

РАСЧЕТ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

1. **Расчёты на износостойкость** ведут по давлению, являющемуся по сути напряжением смятия:

$$p = \frac{F_r}{l d} < [p],$$

где l – длина подшипника; обычно принимают $l = (0,8 \dots 1,2)d$



2. Для косвенной оценки износостойкости определяется произведение $p v$, которое является одновременно **условным расчётом на нагрев**:

$$p v = \frac{F_r \pi d n}{l d \cdot 60 \cdot 10^3} = \frac{F_r n}{19100 l} \leq [p v].$$

3. При высоких скоростях скольжения и небольших давлениях работоспособность подшипника ограничена из-за повышения температуры. **Условие надёжности** записывается в форме:

$$v = \frac{\pi d n}{60000} \leq [v].$$

ОЦЕНКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Достоинства (+):

1. Простота конструкции.
2. Высокая демпфирующая способность.
3. Малые радиальные габариты.

Недостатки (–):

1. Высокое трение и износ при всех режимах, кроме жидкостного трения.
2. Необходимость сложной системы смазки.
3. Необходимость применения дефицитных материалов.

Область применения подшипников скольжения в современном машиностроении значительно сократилась в связи с широким распространением подшипников качения, однако в определенных областях они сохранили преимущество.

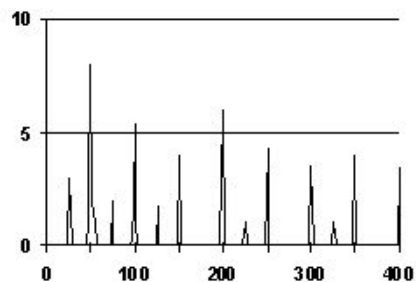
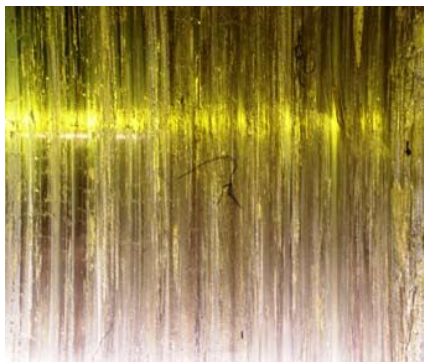
ОЦЕНКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

1. **Высокоскоростные подшипники**, в условиях работы которых долговечность подшипников качения резко сокращается ($n > 10000$ об/мин).
2. **Подшипники тяжело нагруженных тихоходных валов**, для которых не изготавливаются стандартные подшипники качения.
3. **Подшипники, работающие в особых условиях** (вода, агрессивная среда), в которых подшипники качения неработоспособны.
4. **Подшипники прецизионных машин**, от которых требуется особое точное направление валов и возможность регулирования, например шпиндель шлифовального станка.
5. **Разъёмные подшипники** коленчатых и других валов.
6. Подшипники **тесно расположенных валов**.

ВИДЫ РАЗРУШЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Опыт эксплуатации показал, что подшипники, работающие в режиме граничного и полужидкостного трения, выходят из строя по следующим причинам:

1. **Заедание**, проявляющееся в виде намазывания и задира, способствующее выплавлению подшипника – основная причина разрушения.
2. **Абразивное изнашивание**, особенно опасное при засорении смазочного материала.
3. **Усталостное выкрашивание** и отслаивание фрикционного слоя при вибрационных и ударных нагрузках.
4. **Хрупкое разрушение** фрикционного слоя – характерно для баббитов и некоторых пластмасс.



Спектр вибрации подшипника скольжения с увеличенным зазором



ВИДЫ И ПРИЗНАКИ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ В КЖОЛЪЖЕНИЯ

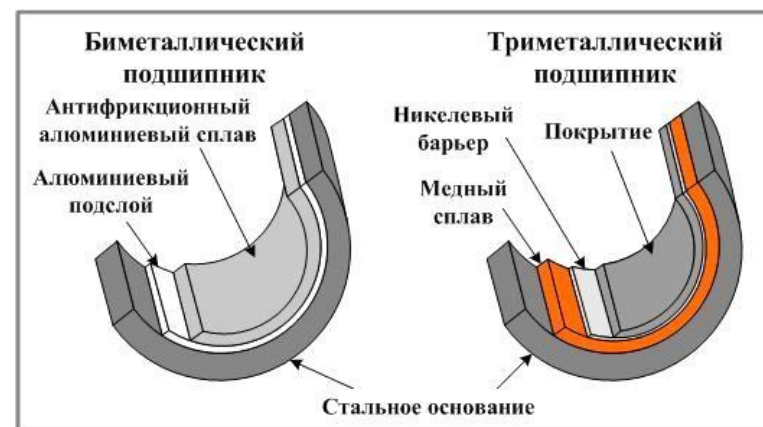
- ✓ износ и искажение формы рабочих поверхностей;
- ✓ отслоение,
- ✓ выкрашивание или частичное выплавление баббита;
- ✓ увеличенные зазоры, сколы, трещины, раковины на поверхностях скольжения;
- ✓ искажение профиля смазочных канавок;
- ✓ отсутствие запаса на регулирование в подшипниках с регулируемым зазором;
- ✓ износ торцов вкладышей;
- ✓ нарушение крепления втулок и вкладышей;
- ✓ поломка деталей корпуса и крышки, срыв резьбы, засорение и повреждение маслоподводящих отверстий и трубопроводов.

Следствием износа рабочих поверхностей подшипника является увеличение зазора, появление овальности, конусо- и бочкообразности.

Величину зазора определяют щупом, а для разъемных подшипников также с помощью двух-трех свинцовых проволочек или пластинок, закладываемых между

МАТЕРИАЛЫ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

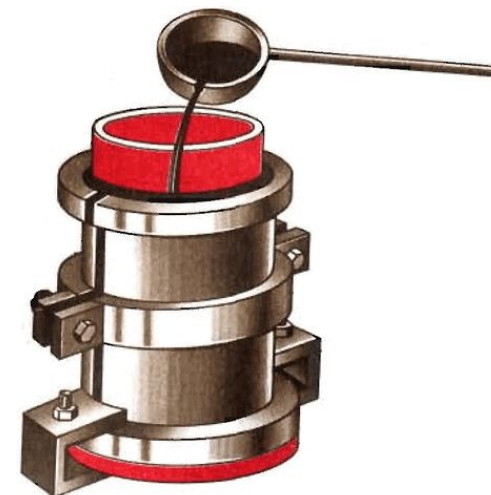
1. **Баббит** на оловянной, свинцовой и другой основе – один из лучших материалов. Отличается высокой хрупкостью.
2. **Бронзы** оловянные, свинцовые, кремниевые и прочие обладают достаточно высокими механическими характеристиками, но сравнительно плохо прирабатываются и способствуют окислению масла. Их широко применяют в крупносерийном и массовом производстве.
3. **Чугун** обладает хорошими антифрикционными свойствами благодаря включениям свободного графита, но прирабатывается хуже, чем бронза.
4. **Пластмассы** (капрон, текстолит и др.), дерево, резина и другие материалы могут работать при водяной смазке.
5. **Металлокерамика** получается прессованием при высоких температурах порошков бронзы или железа с добавлением графита, меди, олова или свинца. Поры занимают 20...30% объема вкладыша и используются как маслопроводящие каналы.



ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БАББИТОВ

Если зазор между вкладышем и шейкой вала превышает допускаемую величину или при ремонте машины обнаруживают отслаивание баббита от стенки стакана вкладыша, то баббит перезаливают.

Заливать вкладыши можно статическим, центробежным способами или под давлением. Для заливки применяют баббит марки Б-16, состоящий из сплава олова (16 %), свинца, сурьмы и меди, или марки Б-83 (олова 83 %), применяемый для быстроходных двигателей и двигателей с тяжелыми для подшипников условиями работы (турбогенераторы, насосы, компрессоры магистральных трубопроводов и крановые двигатели).



Температура плавления и заливки баббита различных марок:

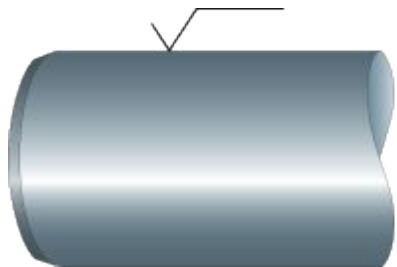
Температура / марка	Б88	Б83	Б83С	Б16	БН	БКА	БК2
плавление	320	370	400	400	410	280	440
заливка	380-420	440-420	440-460	480-500	480-500	340-380	480-500

Превышение температуры может привести к ухудшению качества сплава.

ТРЕБОВАНИЯ К ВАЛАМ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Работая с подшипниками скольжения важно помнить о правильном подборе поверхности вала.
 Рекомендуемая шероховатость поверхности вала **Ra=0.2-1.6μm, Rz=1.25-3μm**

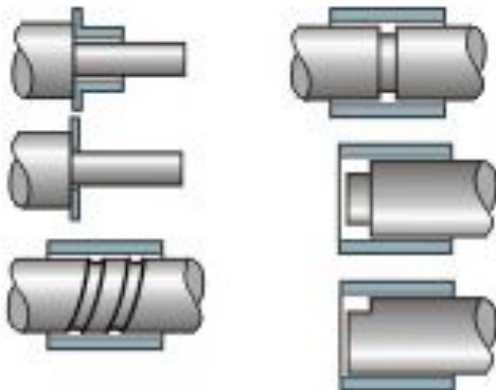
✓ Не рекомендуется использовать валы с значением $Rz > 4$.



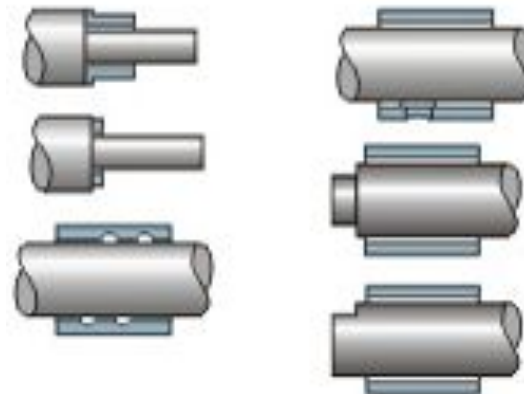
✓ В подшипниках где окружающая среда в совокупности с трением вызывает повышение температуры необходимо использовать вал с хорошей теплопроводностью.

✓ Твердость вала рекомендуется не менее 50HRC

✗ Неправильная установка:

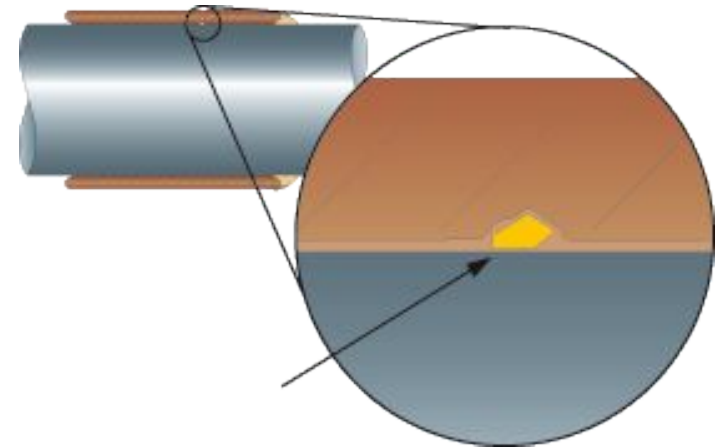


✓ Правильная установка:



ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Окружающая среда как правило изобилует всевозможными загрязнителями как то песок, вода, земля и т.п. Загрязнители вызывают износ и повышение температуры. Подшипник как более мягкий материал в первую очередь подвергается износу!



Для дополнительной защиты от проникновения грязи используются уплотнения:

