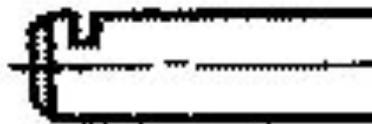


Оси и валы

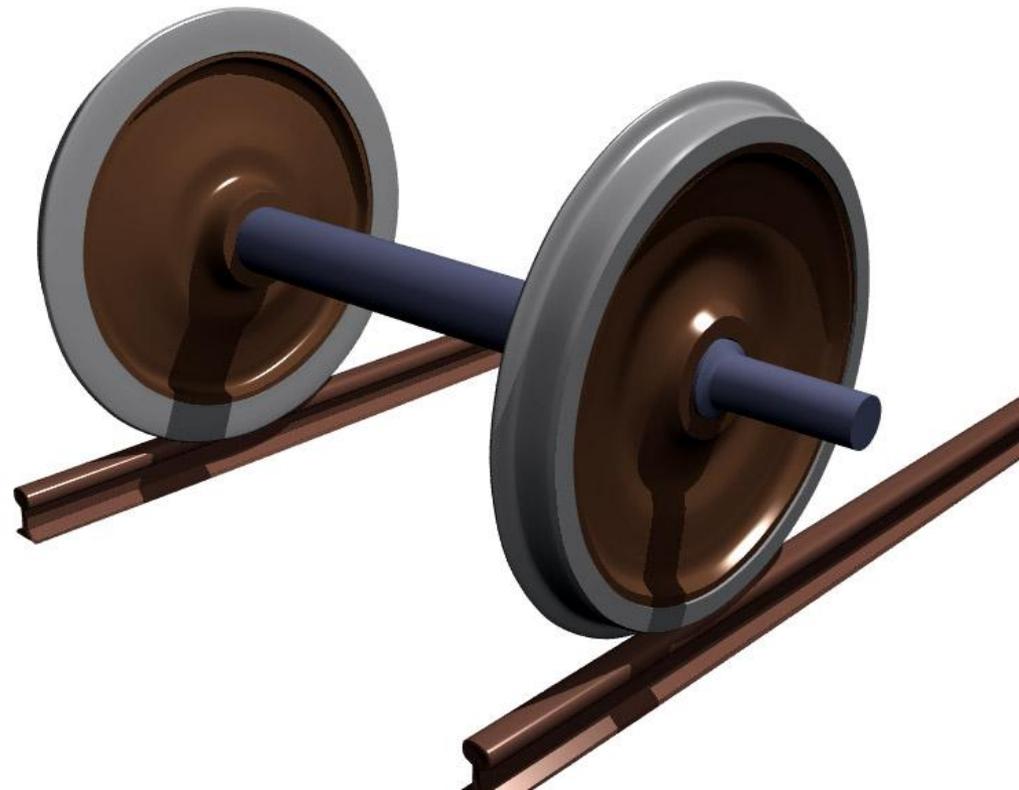
Оси служат для поддержания вращающихся вместе с ними или на них различных деталей машин и механизмов. Вращение оси вместе с установленными на ней деталями осуществляется относительно ее опор, называемых подшипниками. Примером невращающейся оси может служить ось блока грузоподъемной машины (рис. 16.1, а), а вращающейся оси — вагонная ось (рис. 16.1, б). Оси воспринимают нагрузку от расположенных на них дет

Оси представляют собой пр

а)



б)

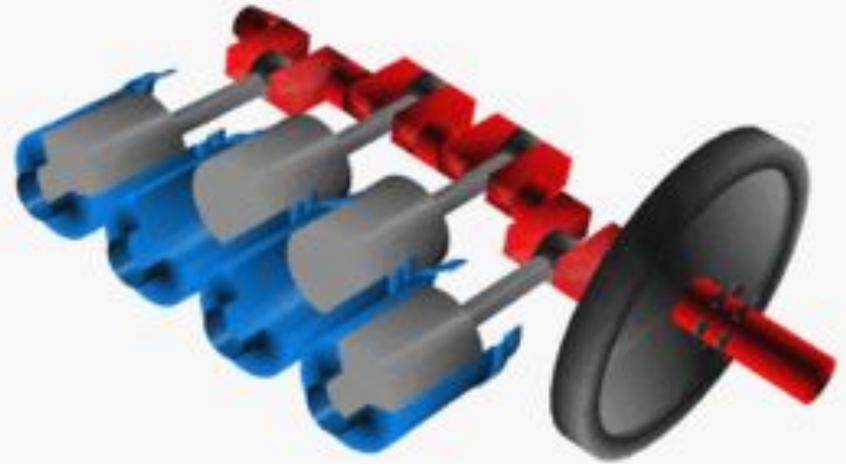
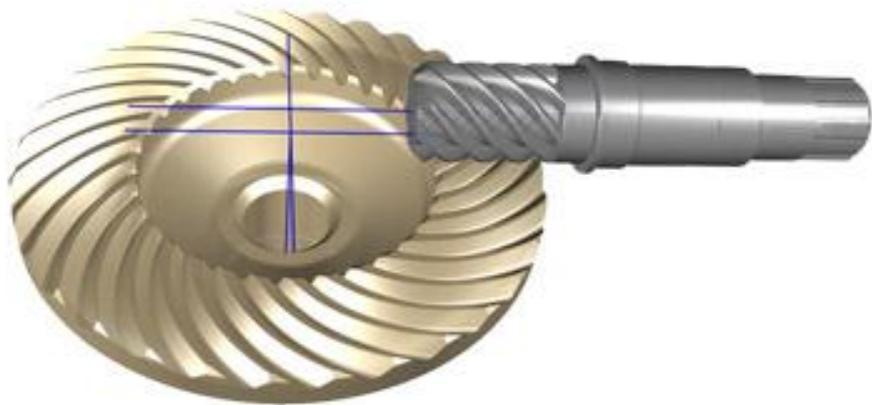


Валы

Валы предназначены для передачи крутящих моментов и, в большинстве случаев, для поддержания вращающихся вместе с ними относительно подшипников различных деталей машин. Валы, несущие на себе детали, через которые передается крутящий момент, воспринимают от этих деталей нагрузки и, следовательно, работают одновременно на изгиб и кручение. При действии на установленные на валах детали (конические зубчатые колеса, червячные колеса и т. д.) осевых нагрузок, валы дополнительно работают на растяжение или сжатие.

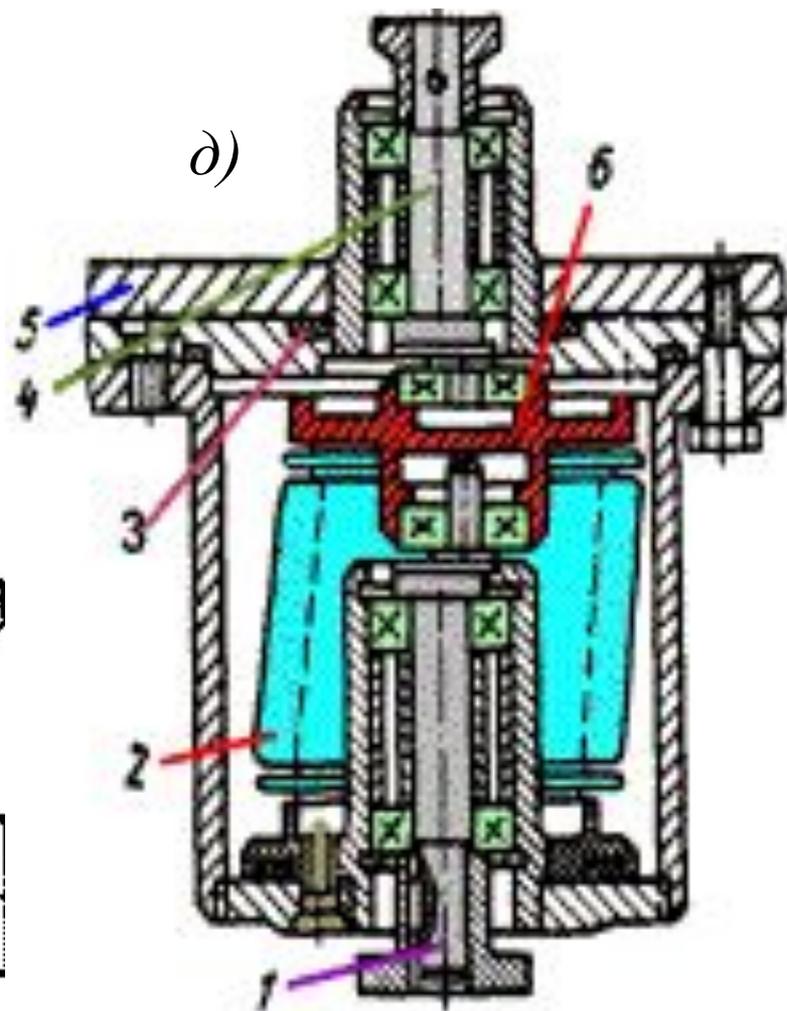
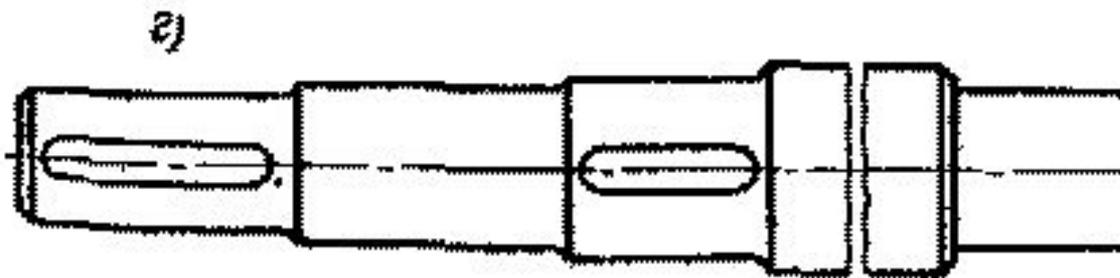
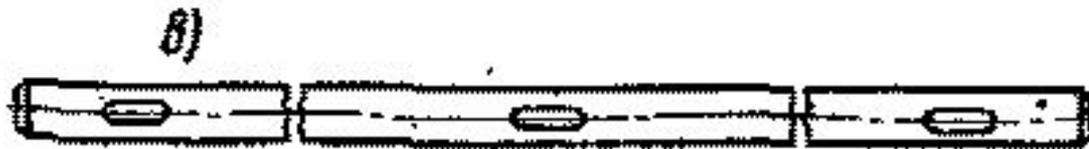


Некоторые валы не поддерживают вращающиеся детали (карданные валы автомобилей, соединительные валки прокатных станков и т. п.), поэтому эти валы работают только на кручение. По назначению различают **валы передач**, на которых устанавливают зубчатые колеса, звездочки, муфты и прочие детали передач, и **коренные валы**, на которых устанавливают не только детали передач, но и другие детали, например маховики, кривошипы и т. д.

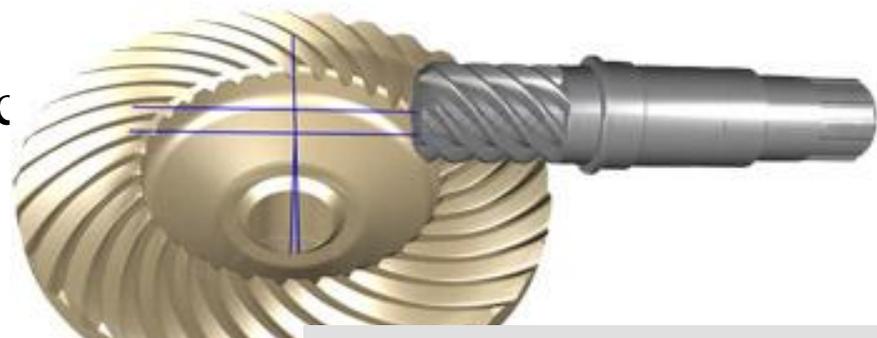


Прямые валы в зависимости от назначения делают либо постоянного диаметра по всей длине (трансмиссионные валы, (в)), либо ступенчатыми (г, д), т. е. различного диаметра на отдельных участках.

Наиболее распространены ступенчатые валы, так как их форма удобна для установки на них деталей, каждая из которых должна к своему месту проходить свободно (валы редукторов).



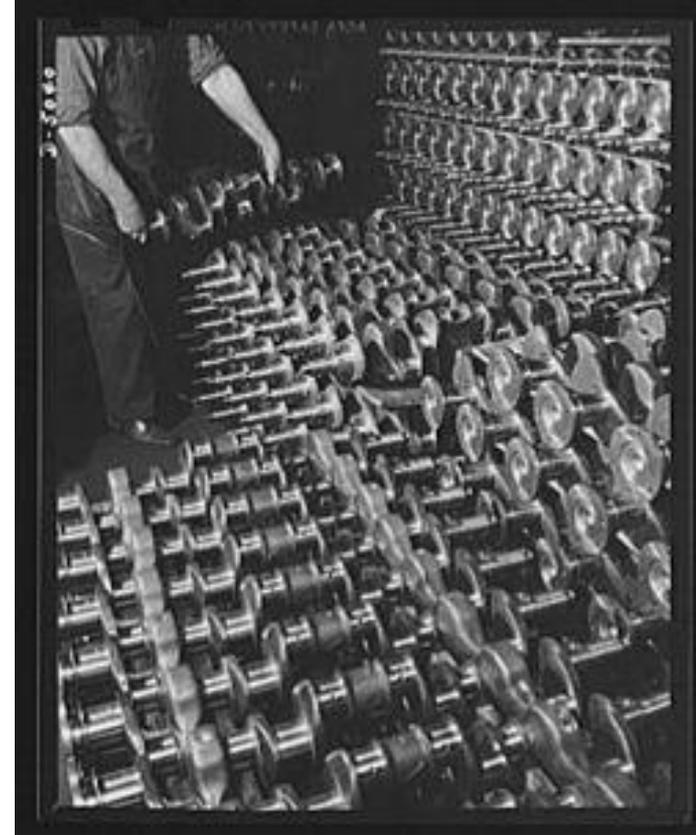
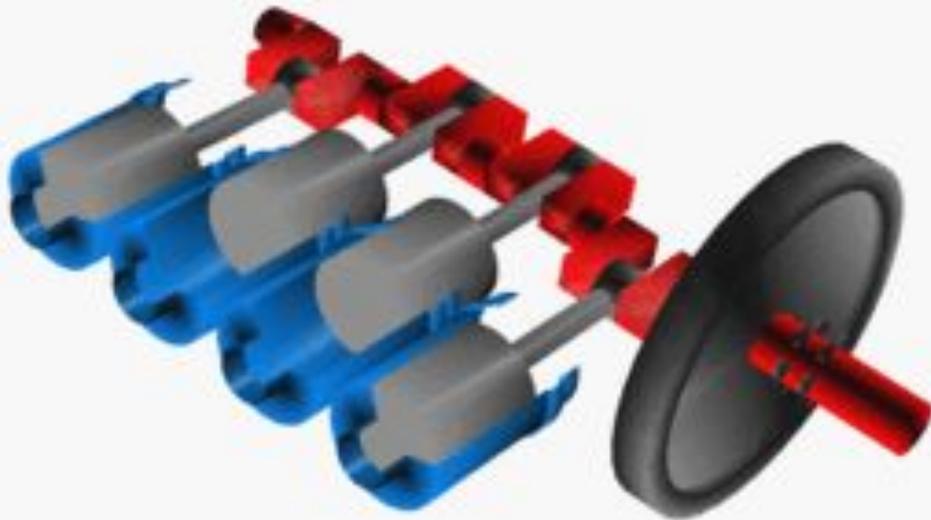
Иногда валы изготавливают заодно с шестернями или червяками.



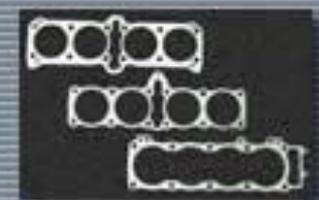
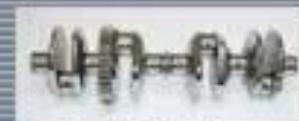
Гибкие валы, представляющие собой многозаходные витые из проволок пружины кручения, применяют для передачи момента между узлами машин, меняющими свое относительное положение в работе (механизированный инструмент, приборы дистанционного управления и контроля, зубоорачебные бормашины и т. п.).



Коленчатые валы в кривошипно-шатунных передачах служат для преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное или наоборот и применяются в поршневых машинах (двигатели, насосы). **Коленчатый вал** — деталь (или узел деталей в случае составного вала) сложной формы, имеющая консоли для крепления шатунов, от которых воспринимает их плоскопоступательное движение, преобразует его во вращательное и передает трансмиссии и приводимым агрегатам.

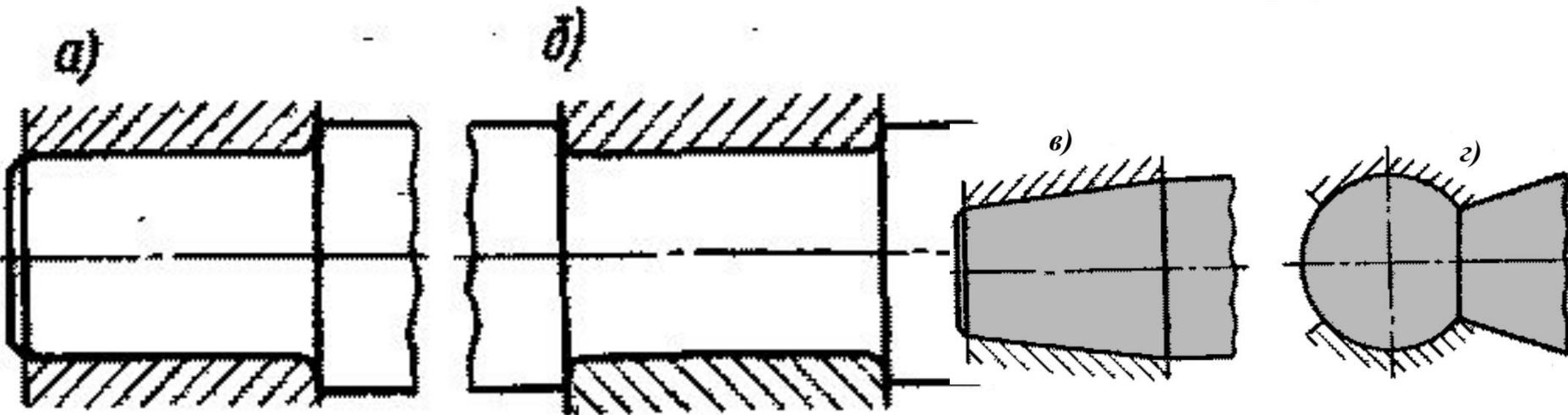


Коленчатый вал -
составная часть
кривошипно-шатунного
механизма (КШМ).



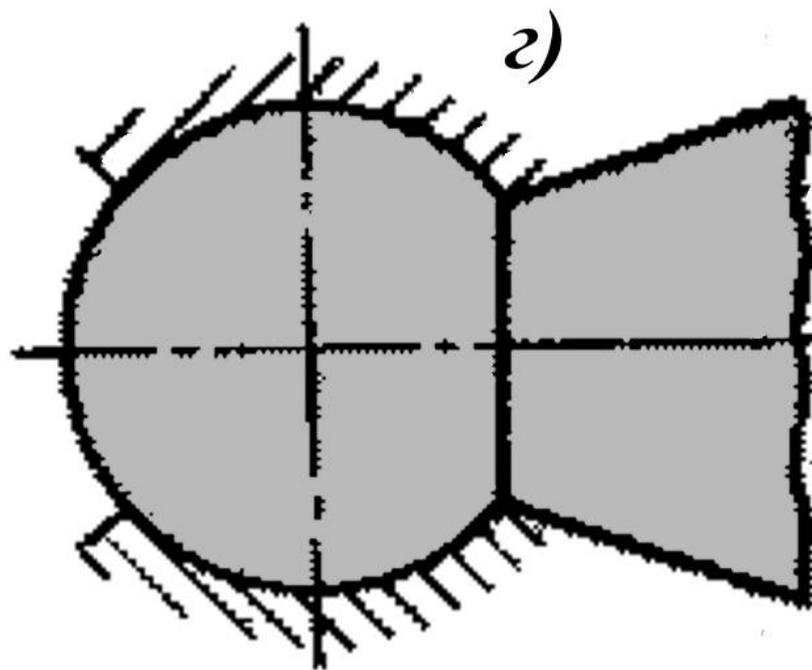
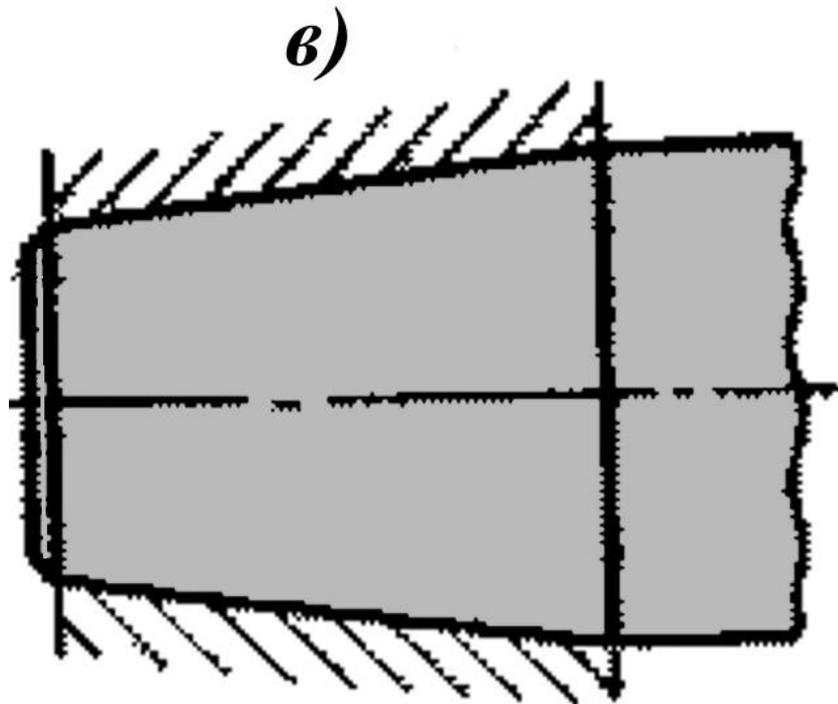
Коленчатый вал - составная часть
кривошипно-шатунного механизма (КШМ).

Участки осей и валов, которыми они опираются на подшипники называют при восприятии радиальных нагрузок **цапфами**, при восприятии осевых нагрузок **пятнами**. Концевые цапфы, работающие в подшипниках скольжения, называют **шипами** (а), а цапфы, расположенные на некотором расстоянии от концов осей и валов, — **шейками** (б). Цапфы осей и валов, работающие в подшипниках скольжения, бывают *цилиндрическими* (а), *коническими* (в) и *сферическими* (г).

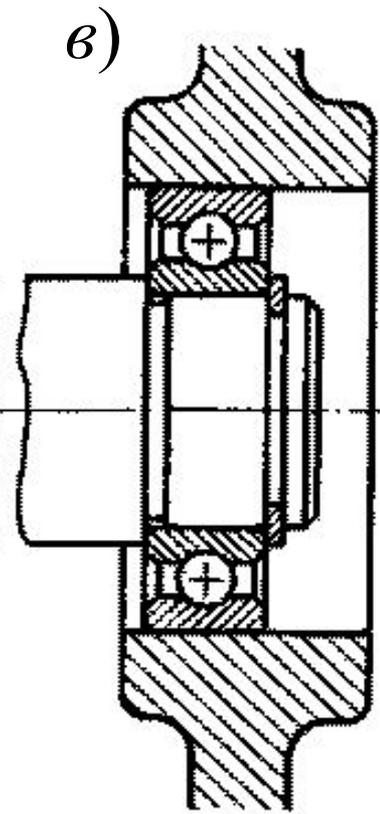
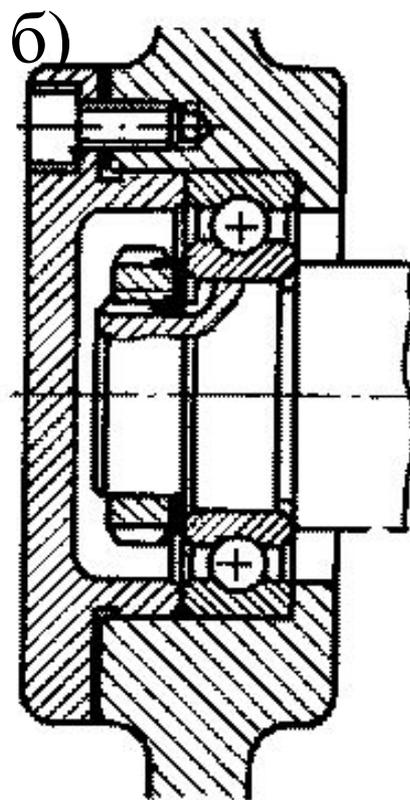
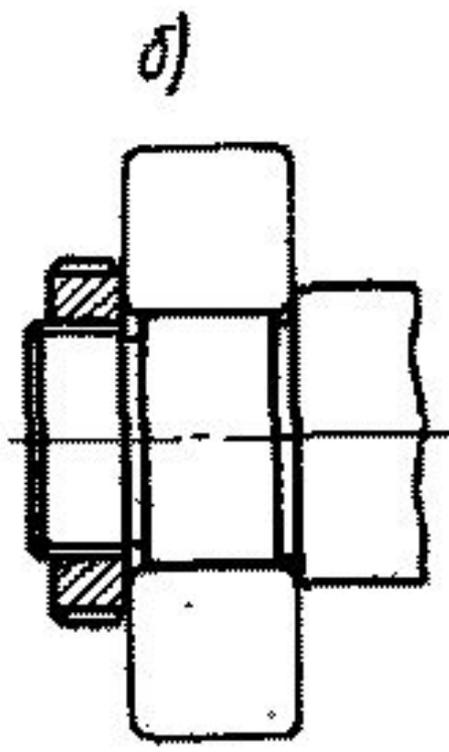
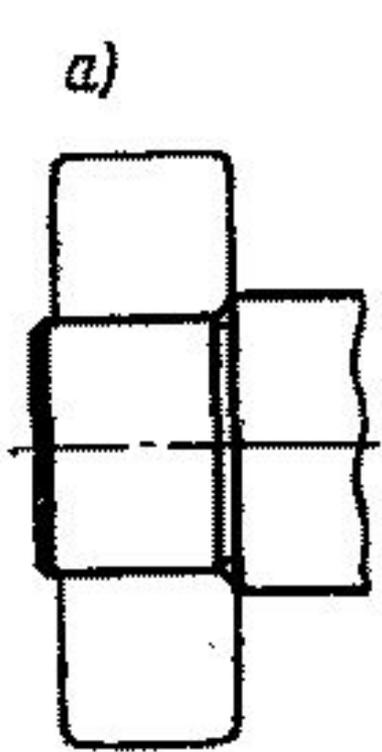


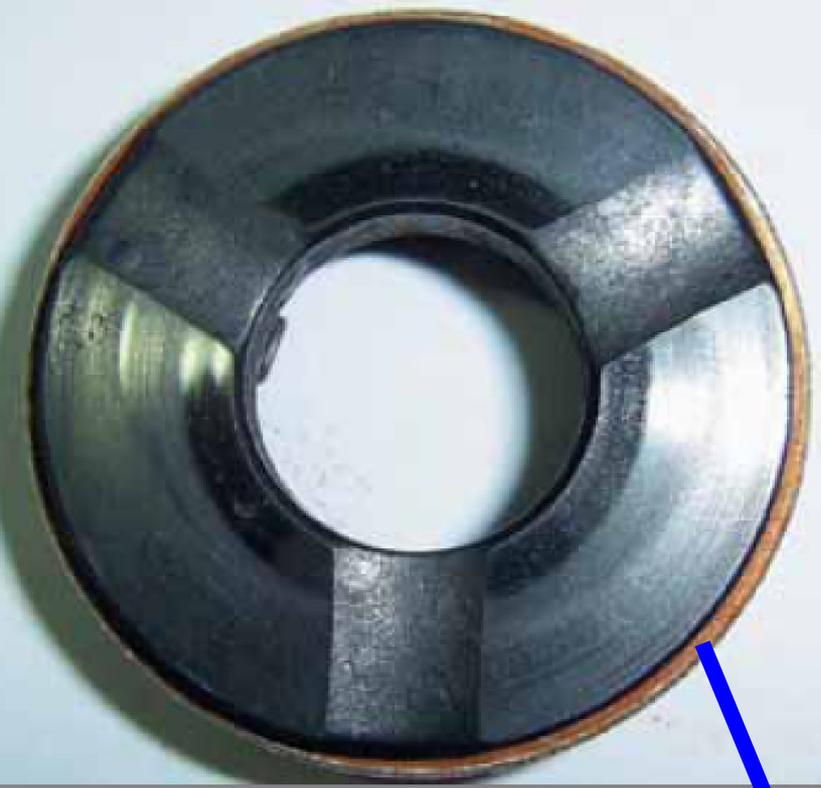
Самые распространенные — цилиндрические цапфы, так как они наиболее просты, удобны и дешевы в изготовлении, установке и работе. Цилиндрические цапфы, работающие в подшипниках скольжения, обычно делают несколько меньшего диаметра по сравнению с соседним участком оси или вала, чтобы благодаря заплечникам и буртикам (б) оси и валы можно было фиксировать от осевых смещений. Цапфы осей и валов для подшипников качения почти всегда выполняют цилиндрическими (а, б).

Конические и **сферические цапфы** применяют сравнительно редко, например для регулирования зазора подшипников точных машин путем перемещения вала или вкладыша - подпятника, а иногда для осевого фиксирования оси или вала. Сферические цапфы применяют тогда, когда вал помимо вращательного движения должен совершать угловое перемещение в осевой плоскости..

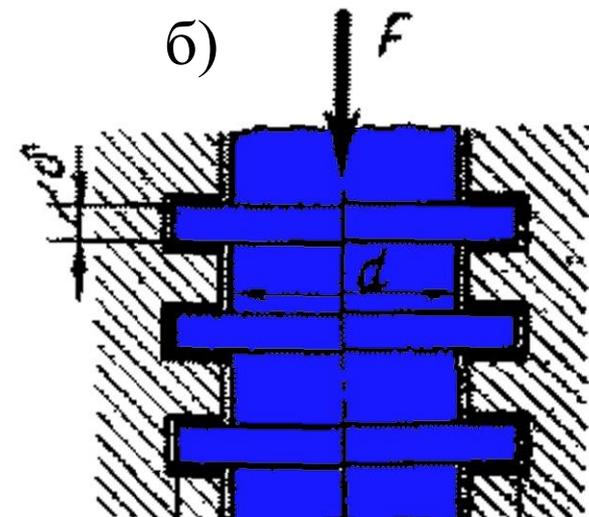
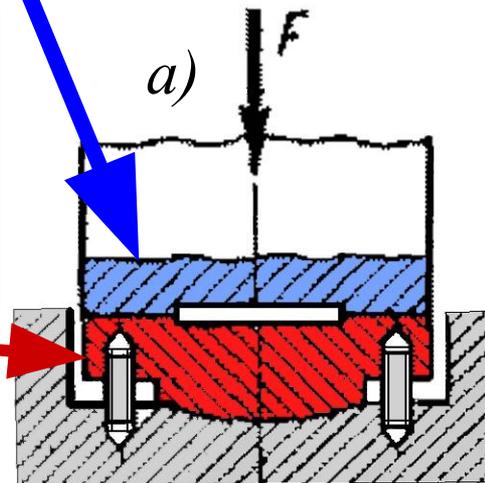


На некоторых осях и валах для фиксирования подшипников качения рядом с цапфами предусматривают резьбу для гаек (б) или кольцевые выточки для фиксирующих пружинных колец (в).



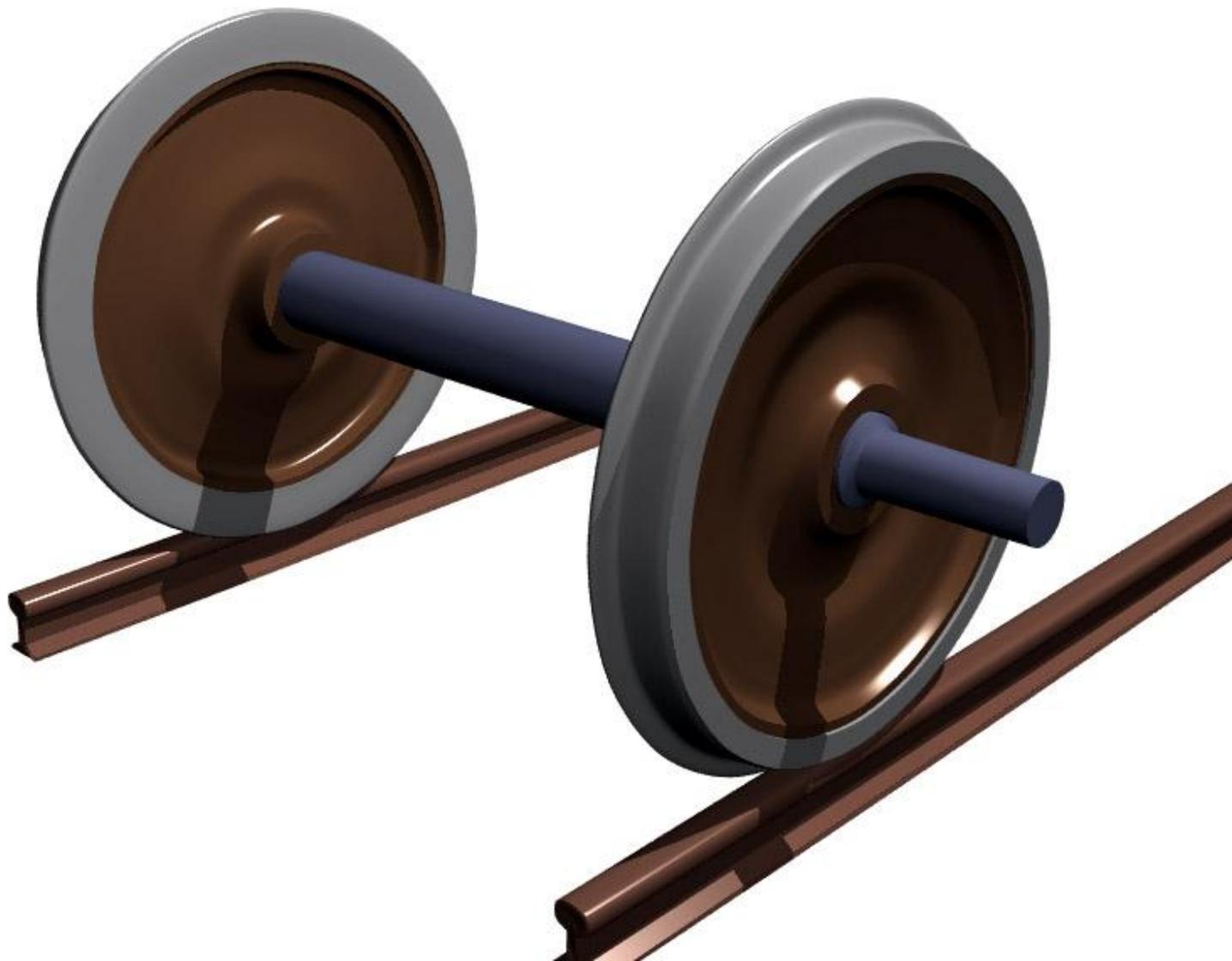


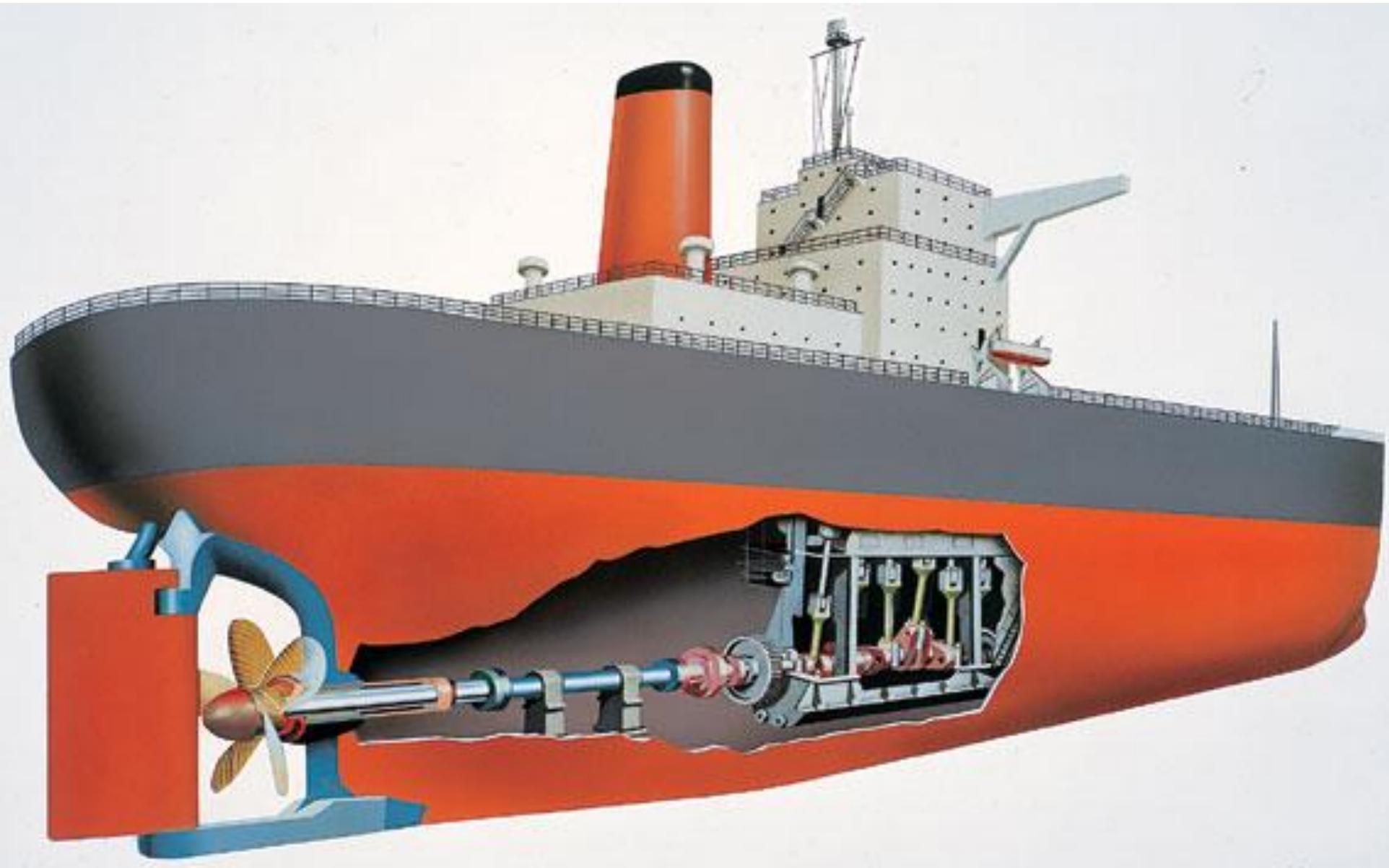
Пяты, работающие в подшипниках скольжения, называемых подпятниками, делают обычно кольцевыми (*а*), а в некоторых случаях — гребенчатыми (*б*). Гребенчатые пяты применяют при действии на валы - больших осевых нагрузок.



Длина осей обычно не превышает 2., .3 м, валы могут быть длиннее. По условиям изготовления, транспортировки и монтажа для цельных валов длина не должна превышать 6...7 м. Более длинные валы делают составными и отдельные части их соединяют муфтами или с помощью фланцев.

Диаметры посадочных участков осей и валов, на которых устанавливаются вращающиеся детали машин и механизмов, должны быть согласованы с ГОСТ.





Расчет осей на статическую прочность при изгибе:

проверочный

$$\sigma_{и} = \frac{M}{0.1d^3} \leq [\sigma_{и}]$$

проектировочный

$$d = \sqrt[3]{\frac{10M}{[\sigma_{и}]}}$$

где $\sigma_{и}$ — расчетное напряжение изгиба в опасном сечении оси; M — изгибающий момент в опасном сечении оси(вала); $0.1d^3$ — момент сопротивления изгибу сечения оси; d — диаметр оси; $[\sigma_{и}]$ — допускаемое напряжение на изгиб. Для вращающихся осей $[\sigma_{и}]$ можно принимать из таблицы.

Для не вращающихся осей значения $[\sigma_{и}]$ следует повысить на 75%.

| Источник концентрации напряжения | Диаметр вала, мм | Стали, термообработка, механические характеристики, МПа | | | |
|---|------------------|--|--|--|--|
| | | 35, Ст5, $\sigma_B \geq 500,$ $\sigma_{-1} \geq 220$ | 45, Ст6, $\sigma_B \geq 600,$ $\sigma_{-1} \geq 260$ | 45, закалка, $\sigma_B \geq 850,$ $\sigma_{-1} \geq 340$ | 40Х, закалка, $\sigma_B \geq 1000,$ $\sigma_{-1} \geq 400$ |
| Деталь, посаженная с небольшим натягом | 30 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| | 50 | 65 | 70 | 75 | 80 |
| | 100 | 60 | 65 | 70 | 75 |
| Напрессованная деталь (без усиления вала) | 30 | 58 | 63 | 67 | 70 |
| | 50 | 48 | 50 | 55 | 60 |
| | 100 | 45 | 48 | 50 | 55 |

Расчет валов, работающих только на кручение;

проверочный

$$\tau_{\text{к}} = \frac{T}{0.2d^3} \leq [\tau_{\text{к}}]$$

проектировочный

$$d = \sqrt[3]{\frac{5T}{[\tau_{\text{к}}]}}$$

Где $\tau_{\text{к}}$ — расчетное напряжение кручения в основном сечении вала;
T — крутящий момент в опасном сечения вала; d- диаметр вала;
 $0,2d^3$ — полярный момент сопротивления поперечного сечения вала
 $[\tau_{\text{к}}]$ — допускаемое напряжение на кручение для вала:

$$[\tau_{\text{к}}] = 0.5[\sigma_{\text{и}}]$$

где $[\sigma_{\text{и}}]$ допускаемое напряжение на изгиб для вала (см. табл.).

Расчёт оси на совместное действие изгиба и кручения

Приведенный или эквивалентный момент $M_{\text{экв}} = \sqrt{M^2 + T^2}$.

Расчет вала на совместное действие изгиба и кручения: проверочный

$$\sigma_{\text{экв}} = M_{\text{экв}} / (0,1d^3) \leq [\sigma_{\text{н}}],$$

проектировочный

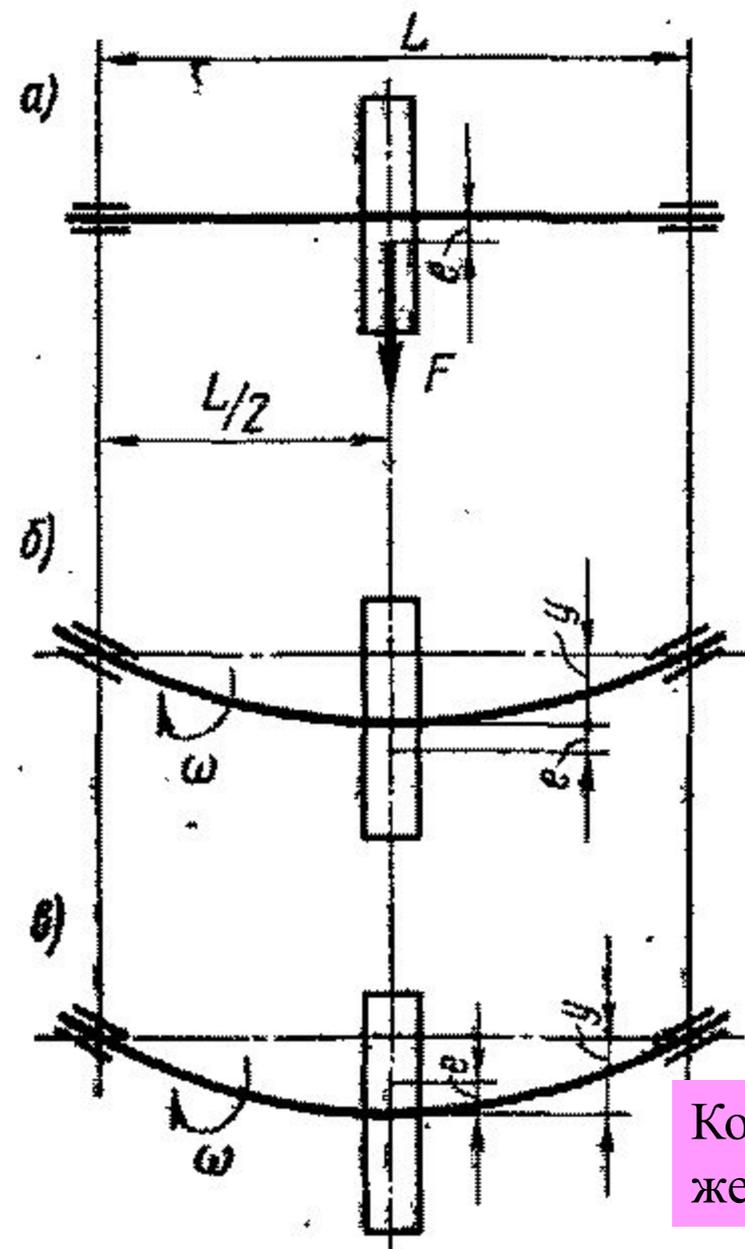
$$d = \sqrt[3]{10M_{\text{экв}} / [\sigma_{\text{н}}]},$$

где $\sigma_{\text{экв}}$ — приведенное (эквивалентное) напряжение для расчетного сечения вала; d — диаметр вала; $0,1d^3$ — момент сопротивления сечения вала при изгибе; $[\sigma_{\text{н}}]$ — допускаемое напряжение на изгиб (см. табл.).

Расчет на колебания

Для большинства быстроходных осей и валов колебания вызываются силами от неуравновешенности установленных на них деталей, если частота действия этих сил равна частоте вращения осей и валов. При совпадении или кратности частоты возмущающих сил и частоты собственных колебаний оси или вала наступает резонанс, амплитуда колебаний оси или вала резко возрастает и может достигнуть такого значения, при котором ось или вал разрушится. Соответствующие резонансу угловую скорость ω оси или вала и частоту вращения и называют *критическими*.

Расчет осей и валов на поперечные колебания заключается в проверке условия отсутствия резонанса при установившемся режиме работы.



При равномерном вращении вала под влиянием центробежной силы F , действующей на несбалансированный диск, вал изгибается. При угловой скорости ω прогиб вала достигает некоторого значения e (б). При этом центробежная сила без учета влияния веса вала

$$F_u = m\omega^2(y + e)$$

где m — масса диска; $y + e$ — радиус вращения центра тяжести диска.

Центробежная сила F_u , действующая на ось или на вал, вызывает силу упругого сопротивления деформации вала:

$$K_o \cdot y = m\omega^2(y + e)$$

Коэффициент жесткости

$$K_o = \frac{48El}{L^3} \quad l \approx 0.05 \cdot d^4$$

где E — модуль упругости материала вала;

l - осевой момент инерции площади сечения вала.

Смещение от оси

$$y = \frac{e}{\left[\frac{K_o}{m \omega^2} - 1 \right]}$$

Критическая круговая частота

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{K_o}{m}}$$

Для отсутствия резонанса угловая скорость оси или вала при установившемся движении должна быть меньше или больше критической скорости. О приближении угловой скорости оси или вала к критической свидетельствует появление сильной вибрации. При продолжительной работе в области резонанса разрушение оси или вала неизбежно. Однако вследствие различных сопротивлений, возникающих при колебаниях, разрушение осей и валов не может произойти мгновенно и при быстром переходе в закритическую область работоспособность осей и валов полностью сохраняется.

Подшипники скольжения

В зависимости от рода трения в подшипнике различают подшипники скольжения, в которых опорная поверхность оси или вала скользят по рабочей поверхности подшипника, и подшипники качения, в которых развивается трение качения благодаря установке шариков или роликов между опорными поверхностями вала и подшипника. Подшипники скольжения применяются, для быстроходных валов, в режиме работы которых долговечность подшипников качения очень мала; для осей и валов, требующих точной установки; для валов очень большого диаметра, для которых не изготавливают стандартных

подшипников качения; когда подшипники по условиям сборки должны быть разъемными (для коленчатого вала); когда в связи с восприятием подшипником ударных и вибрационных нагрузок используется демпфирующее действие масляного слоя подшипника скольжения; при работе подшипников в воде, агрессивной среде и т. п., когда подшипники качения неработоспособны; для тихоходных валов неответственных механизмов, когда подшипники скольжения оказываются проще по конструкции и дешевле подшипников качения.

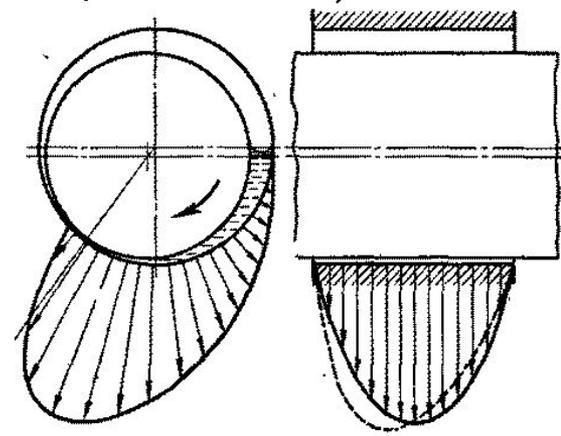


В зависимости от направления воспринимаемой нагрузки подшипники скольжения различают: *радиальные* для восприятия радиальных, т. е. перпендикулярных валам, нагрузок ; *упорные*, или подпятники, для восприятия нагрузок, расположенных вдоль осевых линий осей; *радиально-упорные* для восприятия одновременно радиальных и осевых нагрузок. для уменьшения трения в подшипниках, повышения к. п. д., снижения износа и нагрева до минимума трущиеся поверхности смазывают маслом или другим смазочным материалом. В зависимости от толщины масляного слоя подшипник работает в режиме жидкостного, полужидкостного или полусухого трения.



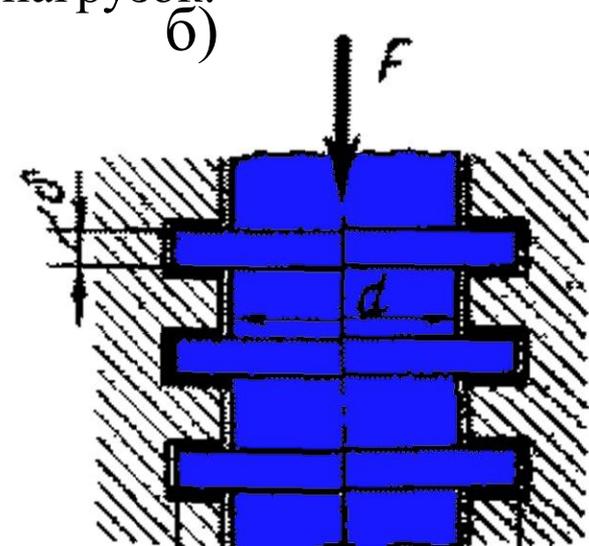
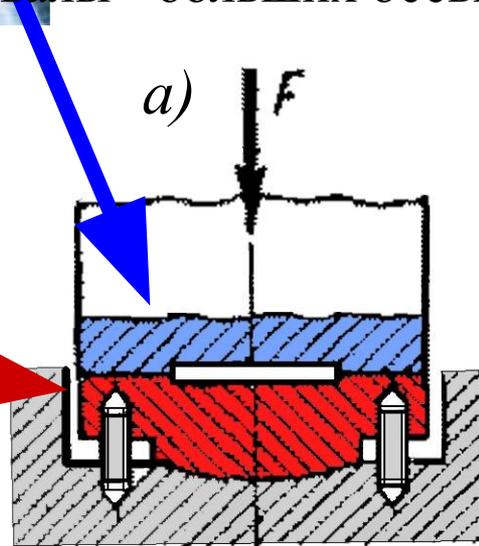
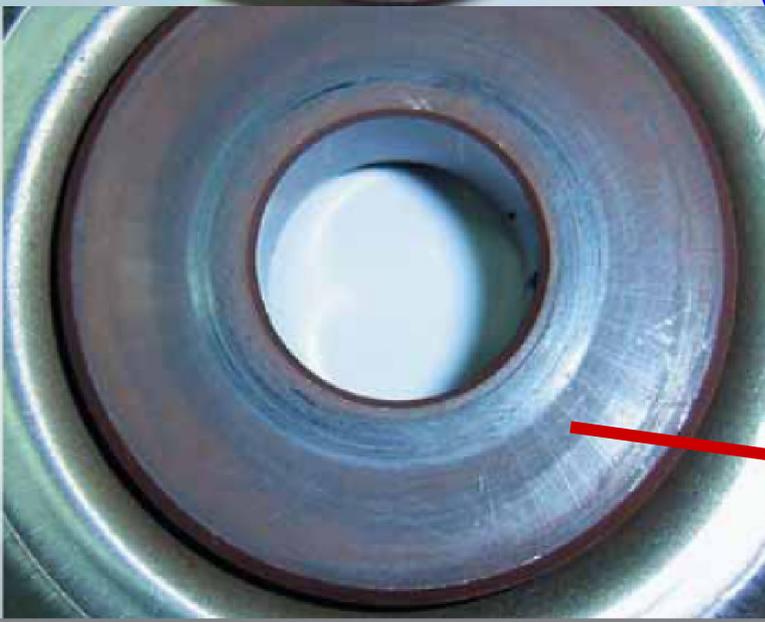
Самый благоприятный режим работы подшипника скольжения — при жидкостном трении, которое обеспечивает износостойкость, сопротивление заеданию вала и высокий к. п. д. подшипника. Для создания этого трения в масляном слое должно быть гидродинамическое (создаваемое вращением вала) или гидростатическое (от насоса) избыточное давление. Для получения жидкостного трения обычно применяют подшипники с гидродинамической смазкой, сущность которой в следующем. Вал при вращении под действием внешних сил занимает в подшипнике эксцентричное положение (рис. 17.1, а) и увлекает масло в зазор между ним и подшипником. В образовавшемся масляном клине создается гидродинамическое давление, обеспечивающее в подшипнике жидкостное трение. Эпюра распределения гидродинамического давления в подшипнике по окружности показана на рис. 17.1, а, по длине — на рис. 17.1, б. Так как конструкция подшипников с гидростатическим давлением сложнее конструкции подшипников с гидродинамическим давлением, то их применяют преимущественно для тяжелых тихоходных валов и других деталей и узлов машин (например, тяжелых шаровых мельниц, больших телескопов и т. п.).

Рис 17.1





Подшипник скольжения состоит из корпуса и помещенных в нем вкладышей, на которые непосредственно опирается вал. Корпус обычно делают из чугуна, вкладыши для уменьшения трения изготавливают из материалов, которые в паре с цапфой вала имеют незначительный коэффициент трения. Замена вкладышей при износе стоит значительно дешевле, чем замена всего подшипника. *Пяты*, работающие в подшипниках скольжения, называемых подпятниками, делают обычно кольцевыми (а) и в некоторых случаях — гребенчатыми (б). Гребенчатые пяты применяют при действии на валы - больших осевых нагрузок.



В случае большой деформации вала или невозможности осуществления точного монтажа применяют *самоустанавливающиеся подшипники скольжения*, вкладыши которых обычно выполняют со сферическими опорными поверхностями (рис. 17.4, а), а иногда с опорными поверхностями в виде узкого пояса с малой угловой жесткостью (рис. 17.4, б). В подшипниках скольжения быстроходных малонагруженных валов, а также в подшипниках большой несущей способности для предупреждения вибрации валов при работе в режиме жидкостного трения применяют *самоустанавливающиеся сегментные вкладыши* (рис. 17.4, в), которые благодаря образованию нескольких масляных клиньев обеспечивают устойчивую работу подшипников

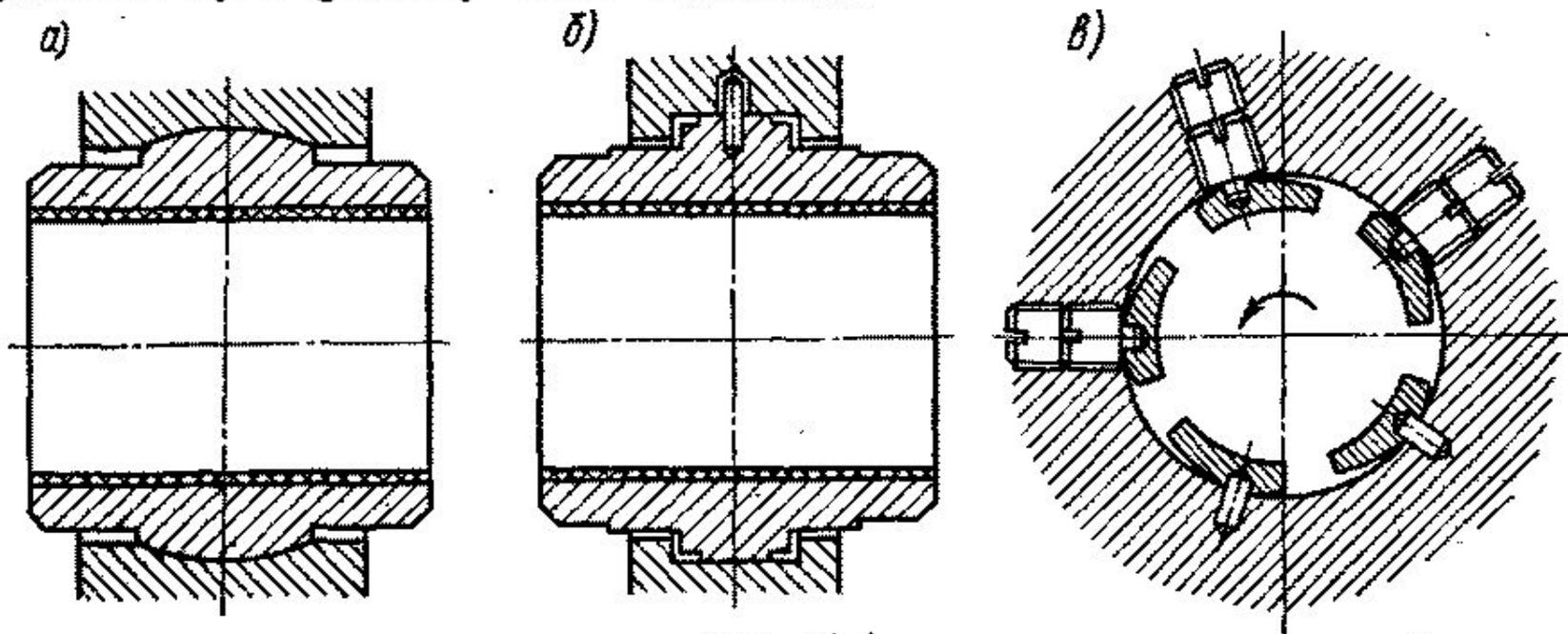


Рис. 17.4

Для создания в подпятниках масляных клиньев, обеспечивающих жидкостное трение, на рабочей поверхности кольца делают радиальные канавки (а) и на выделенных между ними сегментах — скосы в окружном направлении (б). Канавки служат для растекания масла, а скосы сегментов — для попадания масла на рабочие поверхности пяты и подпятника. При постоянном вращении вала скосы делают односторонними (б), при реверсивном — двусторонними. Для увеличения несущей способности и надежности работы подпятников применяют подпятники скольжения с самоустанавливающимися сегментами (в), в которых образование масляных клиньев происходит во время работы автоматически.

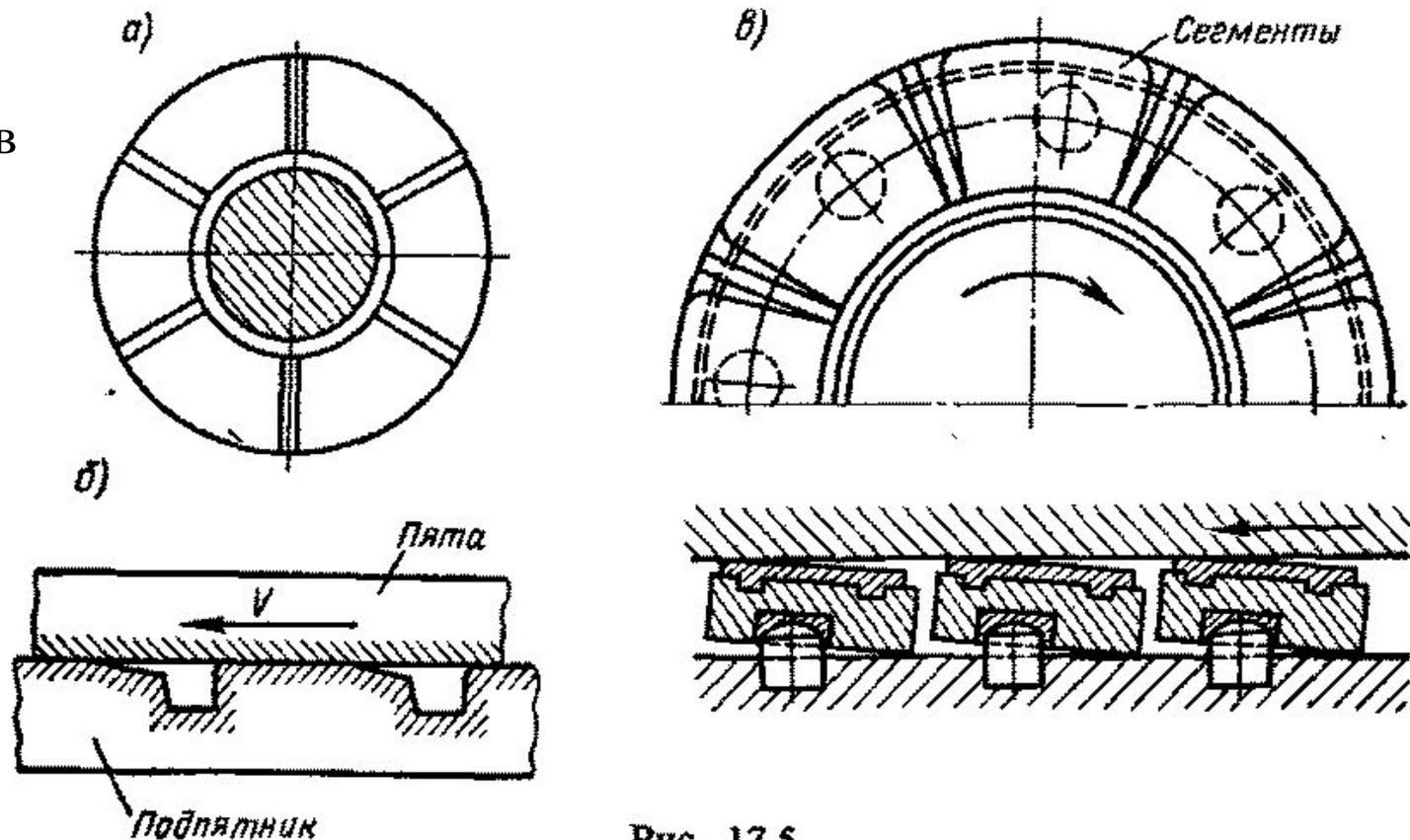


Рис. 17.5

В некоторых подшипниках скольжения применяют металлокерамические вкладыши из порошков железа или бронзы с добавлением графита и других примесей путем прессования под высоким давлением и последующего спекания при высокой температуре. Достоинство металлокерамических вкладышей – высокая пористость их материалов (объем пор составляет 15...40% объема вкладыша), благодаря чему они пропитываются маслом и могут в течение продолжительного времени работать без смазки. Пластмассовые вкладыши подшипников скольжения изготавливают из древеснослоистых пластиков (ДСП), текстолита, текстолокнита, полиамидов (в отечественной практике применяют капрон, нейлон, смолы 68 и АК-7) и фторопластов (тефлона). Основные достоинства пластмассовых вкладышей – отсутствие заедания вала, хорошая прирабатываемость, возможность смазки водой или другой жидкостью. Наиболее распространены вкладыши из текстолита и ДСП, которые широко применяют в прокатных станах, шаровых мельницах, гидравлических и других машинах с тяжелым режимом работы.

Смазочные материалы подразделяются на *жидкие, консистентные*, т. е. *густые (мази), твердые и газообразные*. Жидкие масла равномерно распределяются по трущимся поверхностям, обладают малым внутренним трением, хорошо работают в значительных диапазонах температур и поэтому являются основными смазочными материалами подшипников скольжения. Наиболее распространены *минеральные масла* — продукты переработки нефти. У растительных (льняное, касторовое и др.) и животных масел по сравнению с минеральными более высокие смазывающие свойства, но они дороже и находят применение лишь в специальных случаях.

Маслянистость (смачиваемость, липкость) — способность смазочного материала к адсорбции, т. е. образованию и удержанию на поверхности трения трущихся деталей машин тонких пленок масла. Вязкость — индивидуальное качество данного масла, а маслянистость зависит от свойств не только масла, но и цапфы вала и вкладышей подшипника. Для повышения эксплуатационных показателей в минеральные масла вводят различные присадки (растительные и животные масла, олеиновую кислоту, серу и др.). В некоторых подшипниках скольжения в качестве смазочного материала применяют воду.

Консистентные смазочные материалы изготовляют путем загущения жидких минеральных масел кальциевыми (*солидолы*) или натриевыми (*консталины*) мылами. Они хорошо герметизируют подшипники и допускают в подшипниках большое давление; по сравнению с маслами внутреннее трение в них более высокое. Консистентные смазочные материалы применяют в подшипниках машин цементной промышленности, ткацких станках и т. п., требующих надежной герметизации или работающих в широком диапазоне температур и режимов эксплуатации.

Твердые смазочные материалы — *графит, тальк, слюда* и некоторые другие — применяются для смазки подшипников скольжения, работающих при высоких температурах рабочей среды (например, в транспортерах, вагонетках различных печей).

В некоторых подшипниках скольжения быстроходных и малонагруженных валов применяют *воздушную смазку*. Достоинство воздушной смазки — небольшие потери мощности в подшипниках на трение и теплообразование, так как вязкость воздуха очень низкая.

Для индивидуальной смазки трущихся поверхностей, деталей машин маслами и консистентными смазочными материалами пользуются различными масленками, нормализованными ГОСТом. Для индивидуальной непрерывной смазки маслом без принудительного давления применяют масленки *фитильную* (в) и

капельную с регулировочно-запорной иглой (з).

Фитильная масленка обеспечивает непрерывную подачу масла через фитиль. Недостаток ее заключается в том, что она подает масло в подшипники и тогда, когда они не работают. Капельная масленка перемещением иглы позволяет регулировать смазку и в нерабочее время прекращать подачу масла.

