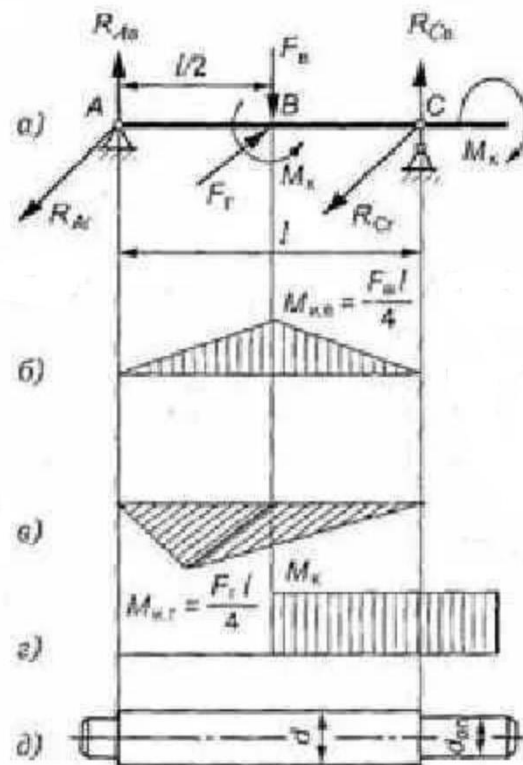
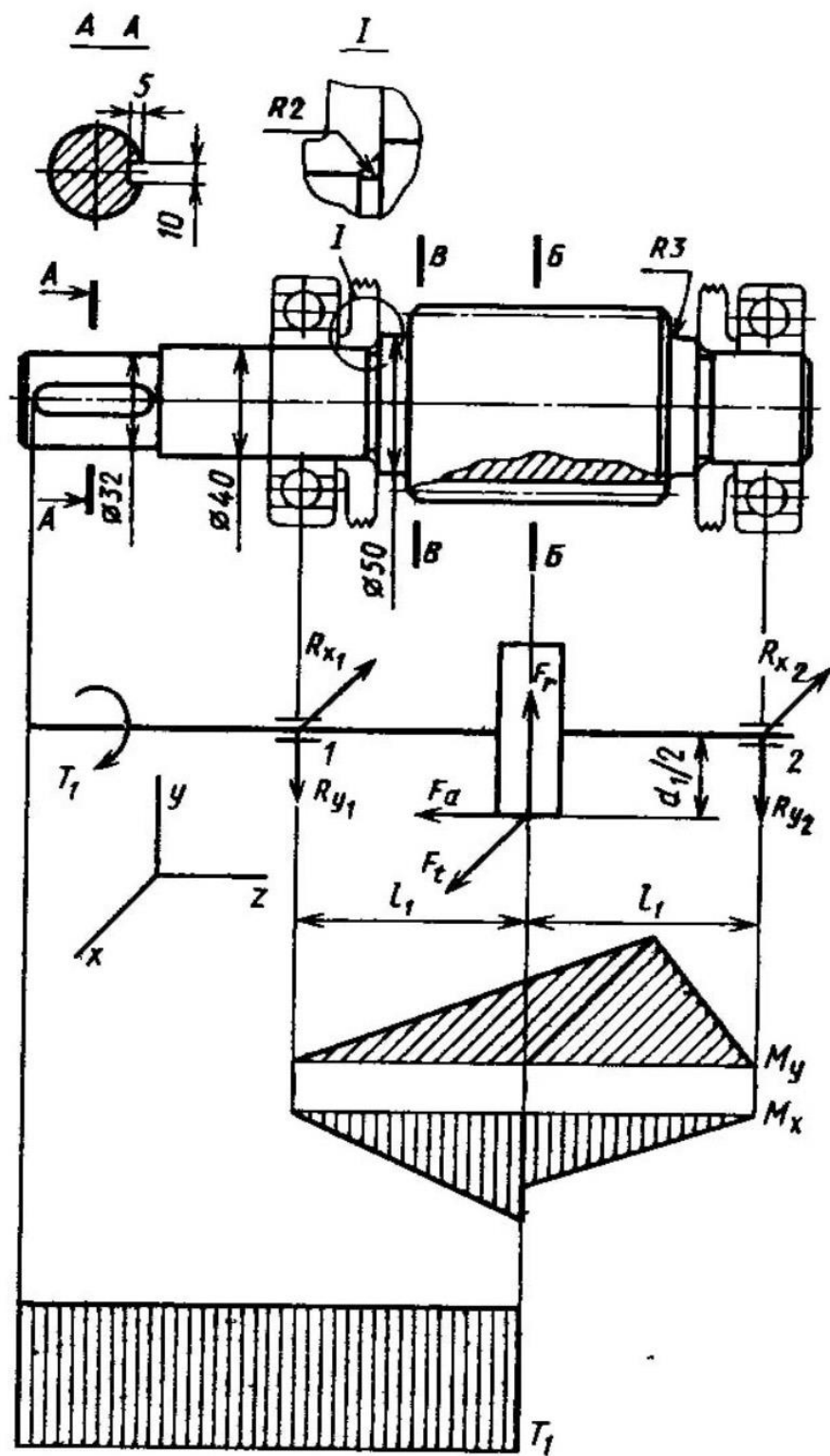


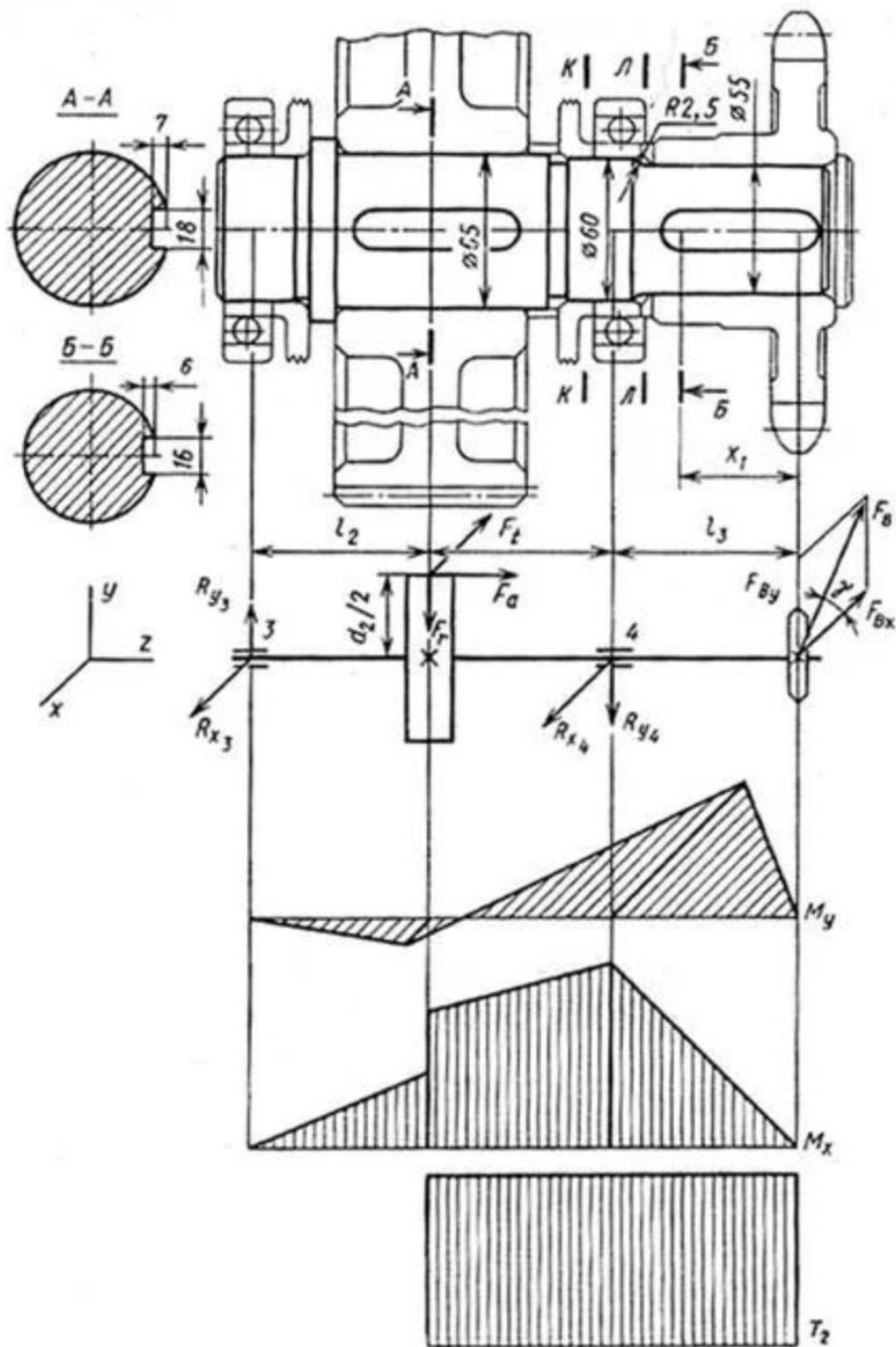
Лекция 9

Расчетная схема вала

- а — схема нагружения;
- б — эпюра изгибающего момента в вертикальной плоскости;
- в — эпюра изгибающего момента в горизонтальной плоскости;
- г — эпюра крутящего момента;
- д — эскиз вала







Расчетная схема ведомого вала

Детали машин

Детали машин – дисциплина по теории расчета и конструированию деталей и узлов машин общемашиностроительного применения. Любое усовершенствование расчета и конструкций этих деталей, позволяющее уменьшить затраты материала, снизить стоимость производства, повысить долговечность, приносит большой экономический эффект.

Основными задачами курса являются:

–изучение конструкций и критериев работоспособности основных деталей и узлов машин;

–изучение основ теории совместной работы и методов расчета деталей машин;

Под *деталью* понимают элемент конструкции (изделие), изготовленный из однородного материала (одной марки) без применения сборочных операций.

Совокупность деталей, соединенных посредством сборочных операций и предназначенных для совместной работы или выполняющих определенные функции, называют *сборочной единицей* или *узлом*.

Классификация деталей машин

С точки зрения конструктора наиболее пригодной является классификация деталей по эксплуатационному признаку – по их назначению и характеру выполняемых функций.

По функциональному признаку детали машин общего назначения подразделяются на следующие группы:

Детали соединений и соединения:

–неразъемные соединения: свариваемые, клепаные, паяные, склеиваемые;

–разъемные соединения: резьбовые, клиновые, штифтовые, шпоночные, шлицевые (зубчатые), профильные;

–промежуточные соединения: цилиндрические с натягом, соединения стяжными кольцами и планками.

Детали передач:

–управляющие передачи: двигательные передачи, передачи исполнительным механизмом.

–физическому эффекту: электрические, пневматические, гидравлические и на механические, делящие с *зацеплением*: зубчатые, винт – гайка, червячные, цепные, волновые; *трением*: фрикционные, ременные.

Детали, обслуживающие вращательное движение.

- валы и оси;
- подшипники: качения, скольжения;
- муфты.

Упругие элементы:

- пружины;
- рессоры.

Уравновешивающие равномерность движения:

- маховики;
- маятники;
- грузы.

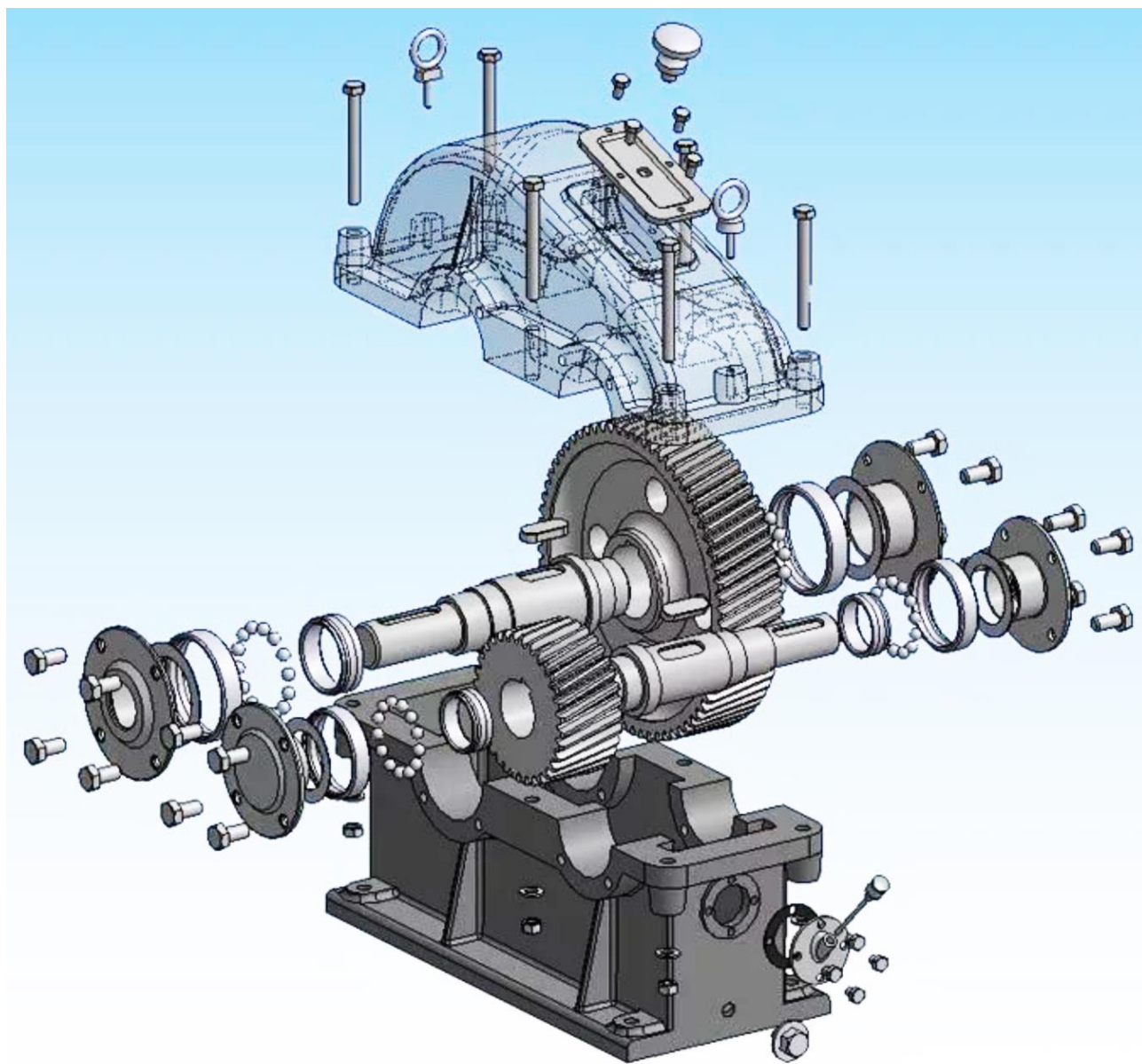
Детали, обеспечивающие смазывание и защиту от загрязнения:

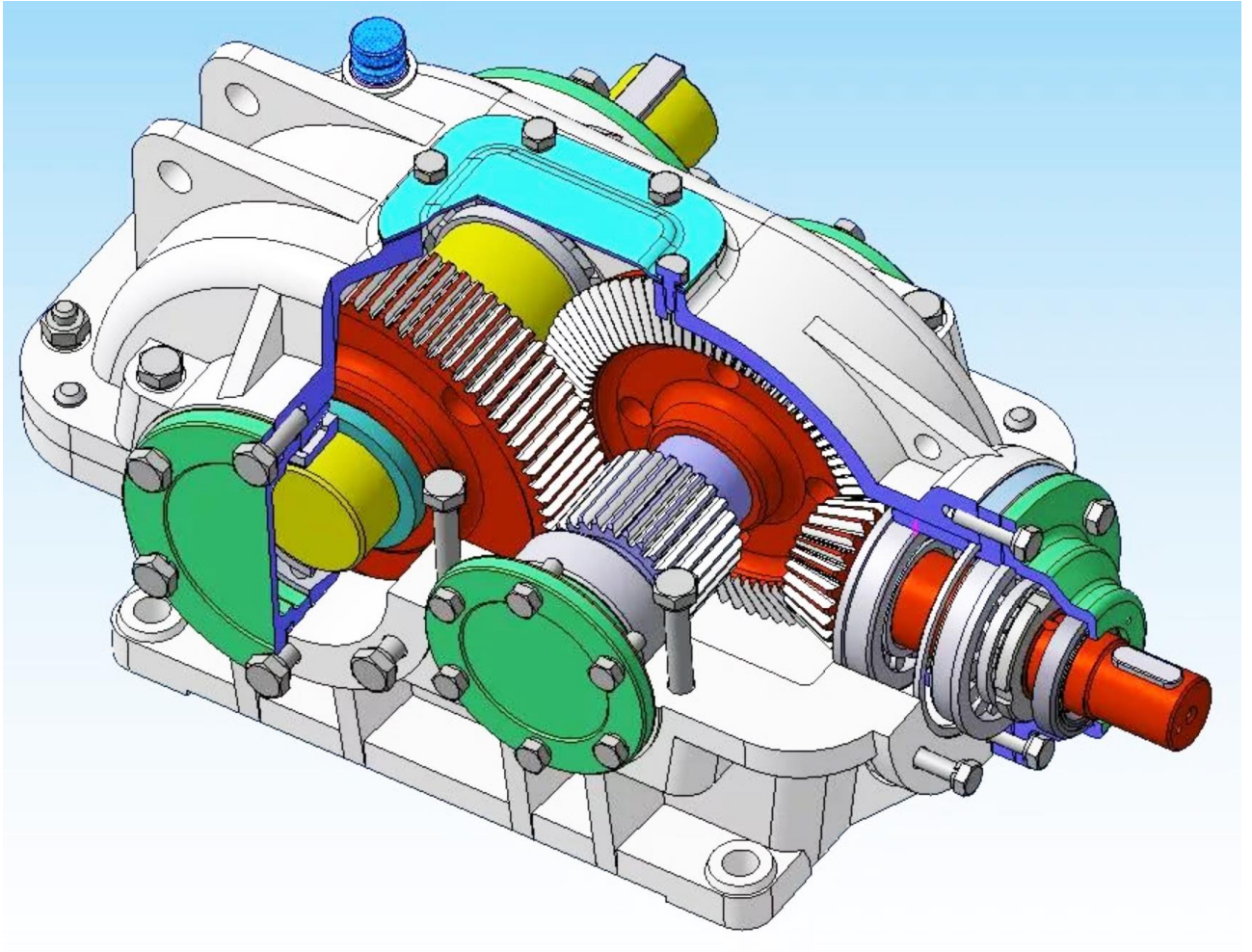
- манжеты;
- уплотнения.

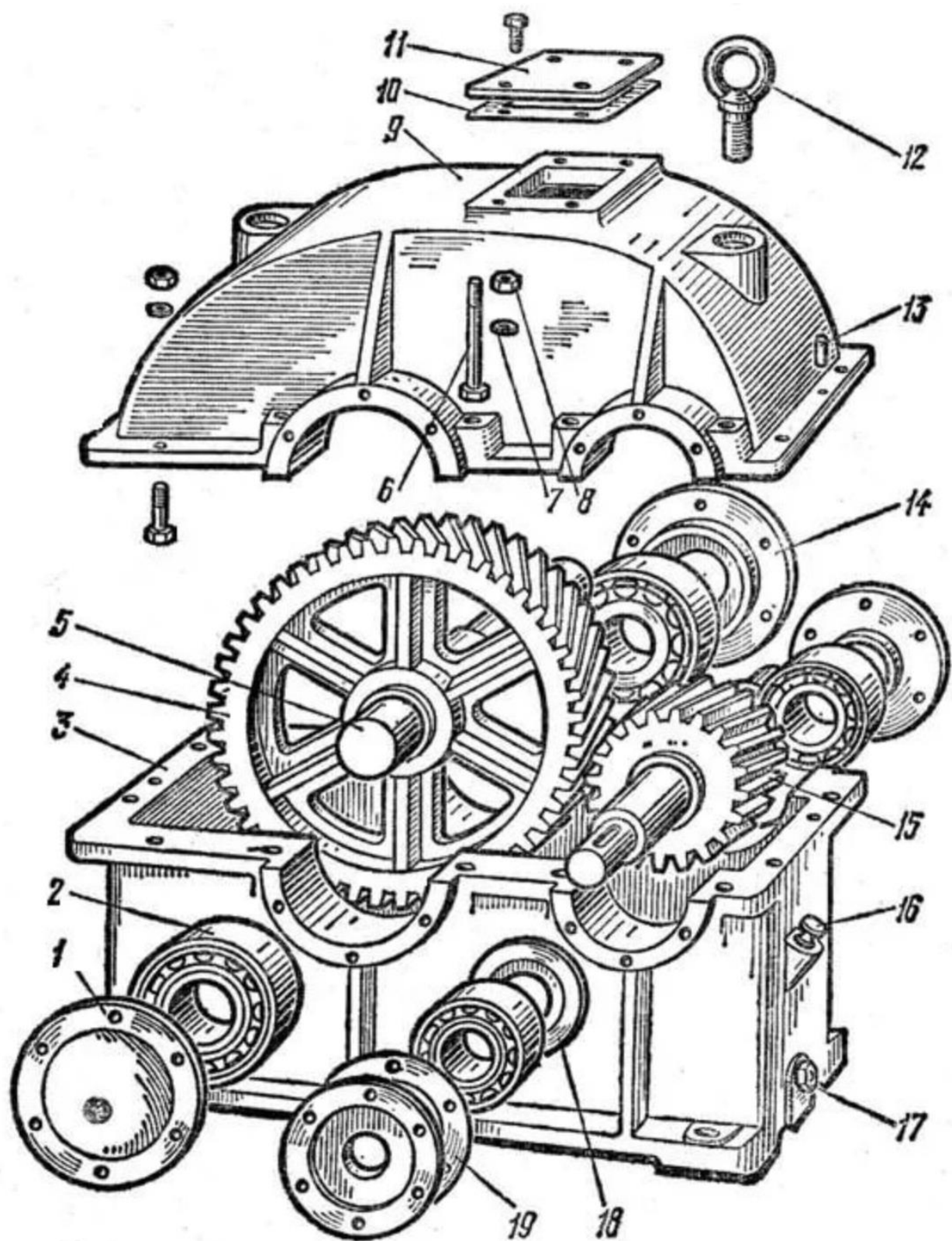
Детали и механизмы управления:

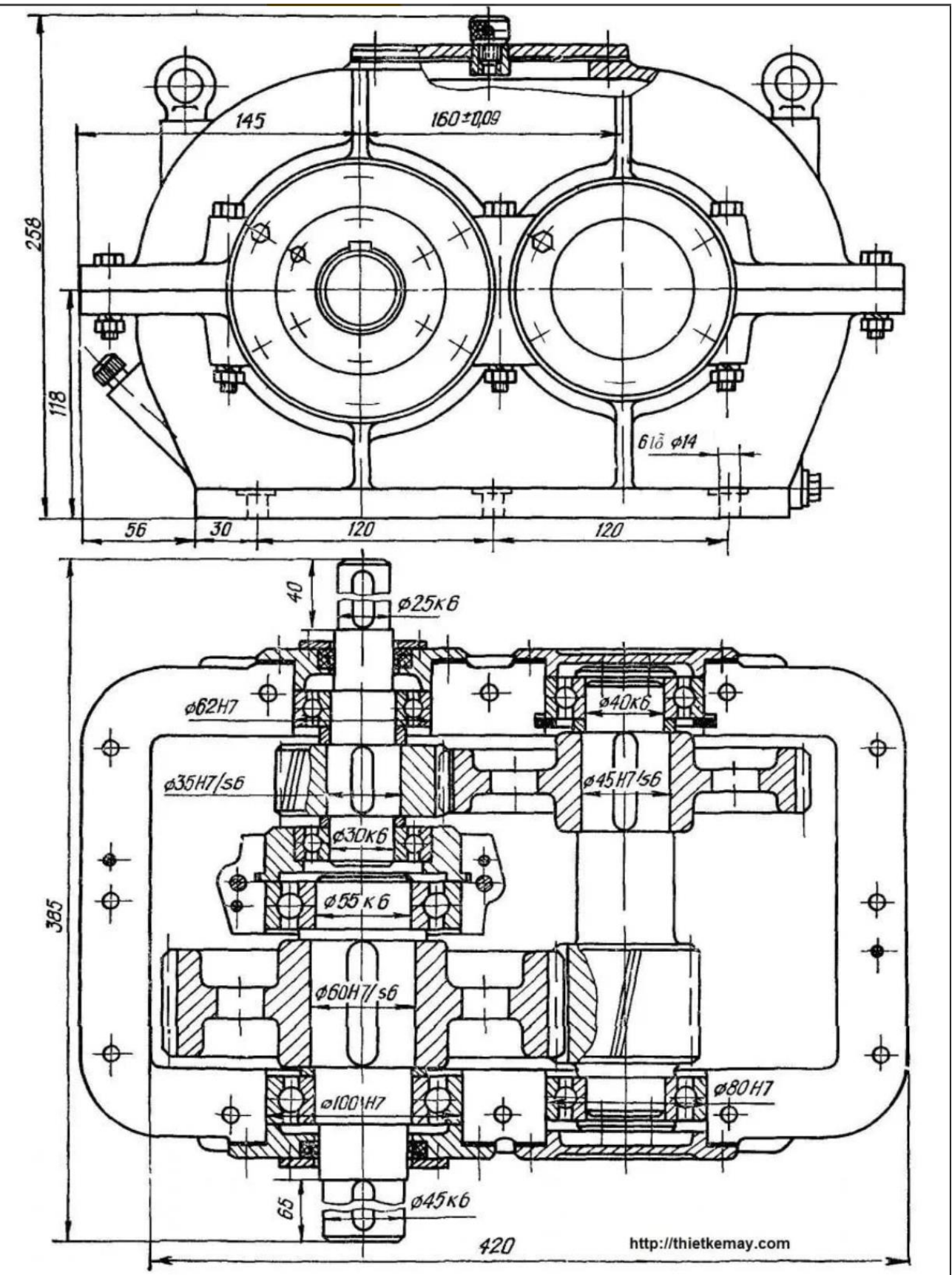
- рукоятки;
- тяги.

Примеры механических устройств









Основные требования к деталям машин.

Деталь должна быть работоспособной. *Работоспособностью* называют состояние деталей, при котором они способны выполнять заданные функции с параметрами, установленными документацией, и сохранением прочности, жесткости, неизменяемости формы и размеров, износостойкости, виброустойчивости и теплостойкости.

Деталь должна обеспечивать заданную надежность. Под *надежностью* понимают свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение определенного промежутка времени или требуемой наработки.

Деталь должна быть технологичной, т. е. изготовленной из недефицитных материалов, и требовать минимальных затрат средств, времени и труда в производстве, эксплуатации и ремонте.

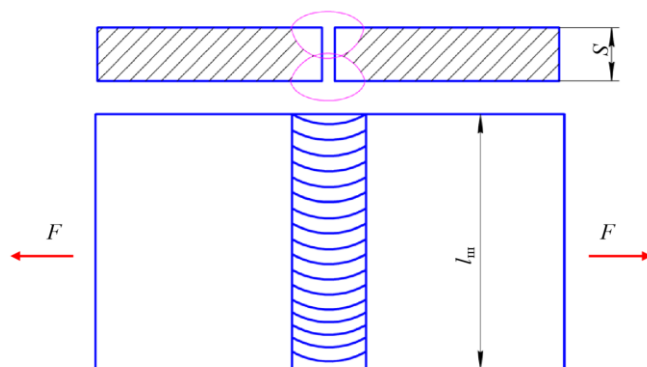
Деталь должна отвечать требованиям безопасности. Кроме того, необходимо учитывать требования экономичности, экологической безопасности и эстетичности.

Неразъемные соединения.

Сварные соединения.

Сварным соединением называется неразъемное соединение, состоящее из двух деталей и соединяющего их сварного шва.

Сварка как высокопроизводительный процесс изготовления неразъемных соединений находит широкое применение. В результате уменьшения массы детали, трудоемкости изготовления, возможности автоматизации производства уменьшается стоимость изготовления детали.



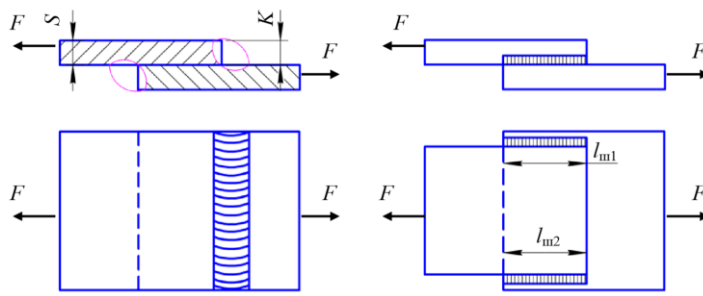
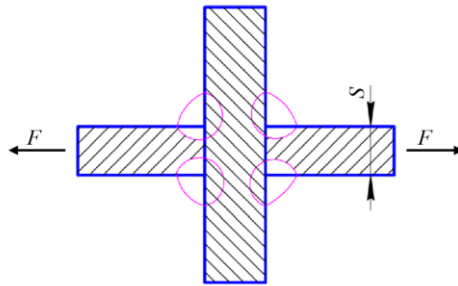


Рис. 17.2



Основными недостатками сварных соединений является недостаточная стабильность качества шва (возможны непровары, пережоги), что снижает прочность сварных швов, особенно при переменных нагрузках. Качество шва повышается при использовании автоматической сварки.

Оценка работоспособности сварных швов.

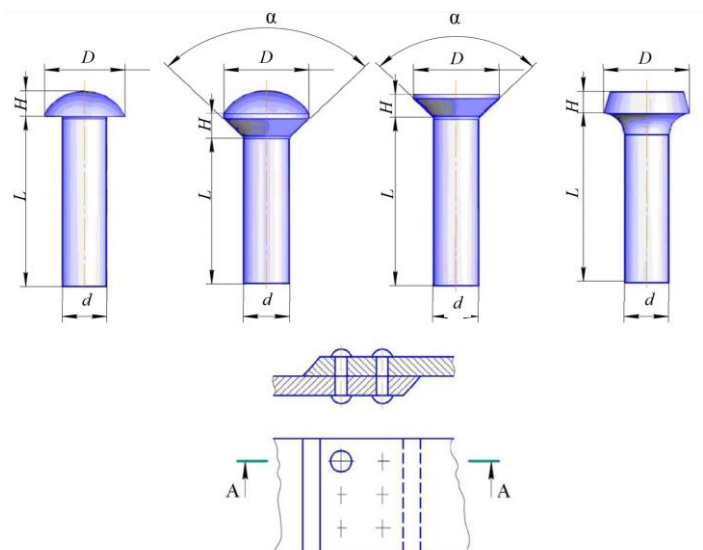
Общим условием работоспособности сварных соединений является равнопрочность сварного шва и соединяемых элементов. Прочность стыкового сварного шва (первый рисунок) оценивается по величине нормальных напряжений среды σ при действии растягивающих сил F и изгибающих моментов M :

$$\sigma = \frac{F}{l_w S} + \frac{M}{W_w} \leq [\sigma],$$

где l_w – длина шва; S – толщина листа; W_w – момент сопротивления сварного шва; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала сварного.

Заклепочные соединения.

Основным скрепляющим элементом заклепочных соединений является заклепка. Она представляет собой короткий цилиндрический стержень длиной L , диаметром d , на одном конце которого находится го-



ловка диаметром D , высотой H , а для некоторых видов – с углом конуса α . Головки заклепок могут иметь сферическую, коническую или коническо-сферическую форму. Достоинства заклепочных соединений в сравнении со сварными:

- стабильность качества соединения, надежная работа при ударных и вибрационных нагрузках;

- надежный и простой визуальный контроль качества, возможность соединения деталей из несвариваемых или подверженных короблению материалов.

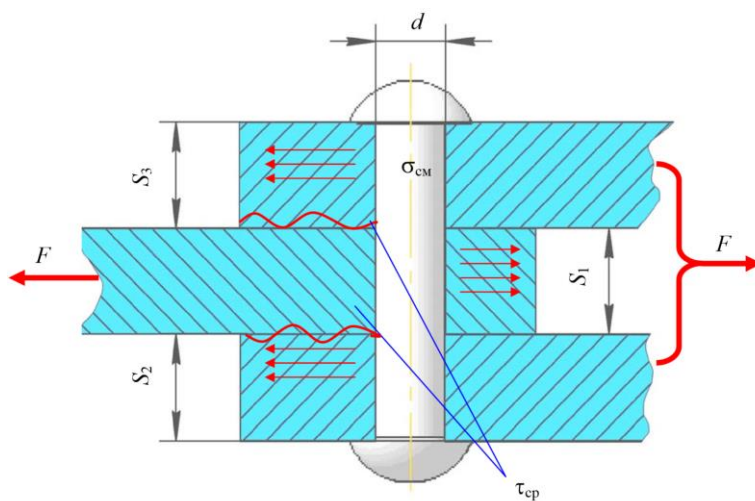
Недостатки заклепочных соединений:

- ослабление деталей отверстиями и в связи с этим повышенный расход металла;

- менее удобные конструктивные формы и трудность автоматизации процесса склепывания.

Оценка работоспособности заклепочных соединений.

Расчет заклепочных соединений состоит в определении количества заклепок (расстояний между соседними заклепками и рядами заклепок) и их диаметра. Работоспособность заклепочных соединений оценивается по величине напряжений среза стержня заклепки $\tau_{ср}$ и смятия боковой поверхности $\sigma_{см}$. Заклепки необходимо располагать так, чтобы в них возникали только касательные напряжения среза. В этом случае условие прочности заклепки имеет вид:



диаметра. Работоспособность заклепочных соединений оценивается по величине напряжений среза стержня заклепки $\tau_{ср}$ и смятия боковой поверхности $\sigma_{см}$. Заклепки необходимо располагать так, чтобы в них возникали только касательные напряжения среза.

В этом случае условие прочности заклепки имеет вид:

$$\tau = \frac{4F}{\pi d^2 Z l} \leq [\tau]_{ср},$$

где F – срезающая сила; d – диаметр заклепки; Z – количество заклепок; l – число плоскостей среза; $[\tau]_{\text{ср}}$ – допускаемое напряжение среза.

Напряжения смятия боковой поверхности заклепки определяются по формуле:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{dZSl} \leq [\sigma]_{\text{см}},$$

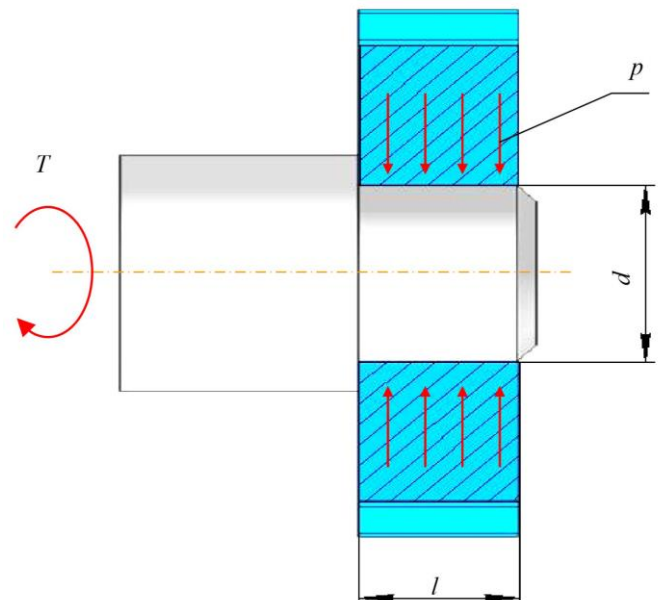
где S – минимальная толщина соединяемых деталей; $[\sigma]_{\text{см}}$ – допускаемое напряжение смятия.

Применяемые материалы заклепок: малоуглеродистые стали, дюралюминий, латунь, медь.

Соединение деталей с гарантированным натягом.

В соединениях деталей с гарантированным натягом взаимное смещение их относительно друг друга предотвращается силами трения на поверхности контакта. Такие соединения могут воспринимать произвольно направленные силы и моменты. Используют их при больших, особенно динамических нагрузках и отсутствии необходимости в частой разборке (кривошпы, детали составных коленчатых валов, венцы зубчатых колес и т. д.). Соединение

деталей по цилиндрическим поверхностям показано на рисунке: одна деталь охватывает другую. Характер соединения определяется натягом, т. е. разностью посадочных размеров. Необходимая величина натяга определяется минимальным потребным давлением P на посадочной поверхности. Давление должно быть таким, чтобы силы трения были больше внешних сдвигающих сил. Величина натяга (разница размеров) определяется с привлечением законов теории упругости и пластичности.



Достоинства соединений с гарантированным натягом в сравнении с другими соединениями, передающими усилия или моменты:

- возможность работать с большими нагрузками;
- хорошее восприятие ударных нагрузок;
- просты в изготовлении и не ослабляют сечение вала.

Недостатком таких соединений являются трудности при сборке и разборке: появляются повреждения посадочных мест и ослабления посадки, отличающиеся большим рассеиванием прочности из-за действительных размеров вала и отверстия в пределах допуска.

По способу сборки различают:

- соединения, собираемые запрессовкой;
- соединения с нагревом охватывающей поверхности;
- соединения с охлаждением вала.

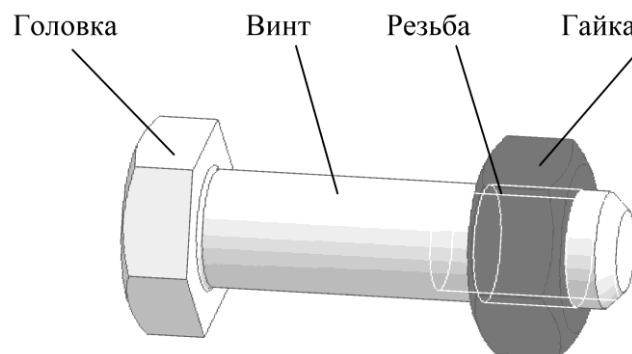
Сборка запрессовкой позволяет контролировать силу запрессовки и тем самым вести контроль за соединением. Однако прочность сцепления деталей, собираемых с помощью температурного деформирования, при том же натяге больше (почти в 1,5 раза), так как при этом гребешки микронеровностей не сглаживаются.

Разъемные соединения.

Резьбовые соединения – это разъемные соединения деталей с помощью резьбы или резьбовых крепежных деталей – винтов, болтов, шпилек, гаек.

При сборке и разборке резьбового соединения крепежные винты поворачивают или удерживают от поворота соответствующим инструментом (ключом, отверткой) или непосредственно рукой за головку винта.

Болт – крепежная деталь в виде



стержня с головкой и резьбой, на которую навинчивают крепежную гайку. Гайка – это деталь с резьбовым отверстием, навинчиваемая на винт и имеющая форму, приспособленную для захвата ключом или рукой.

Достоинства резьбовых соединений:

– возможность создания больших осевых сил благодаря клиновому действию резьбы;

– возможность фиксирования зажима в любом положении благодаря самоторможению;

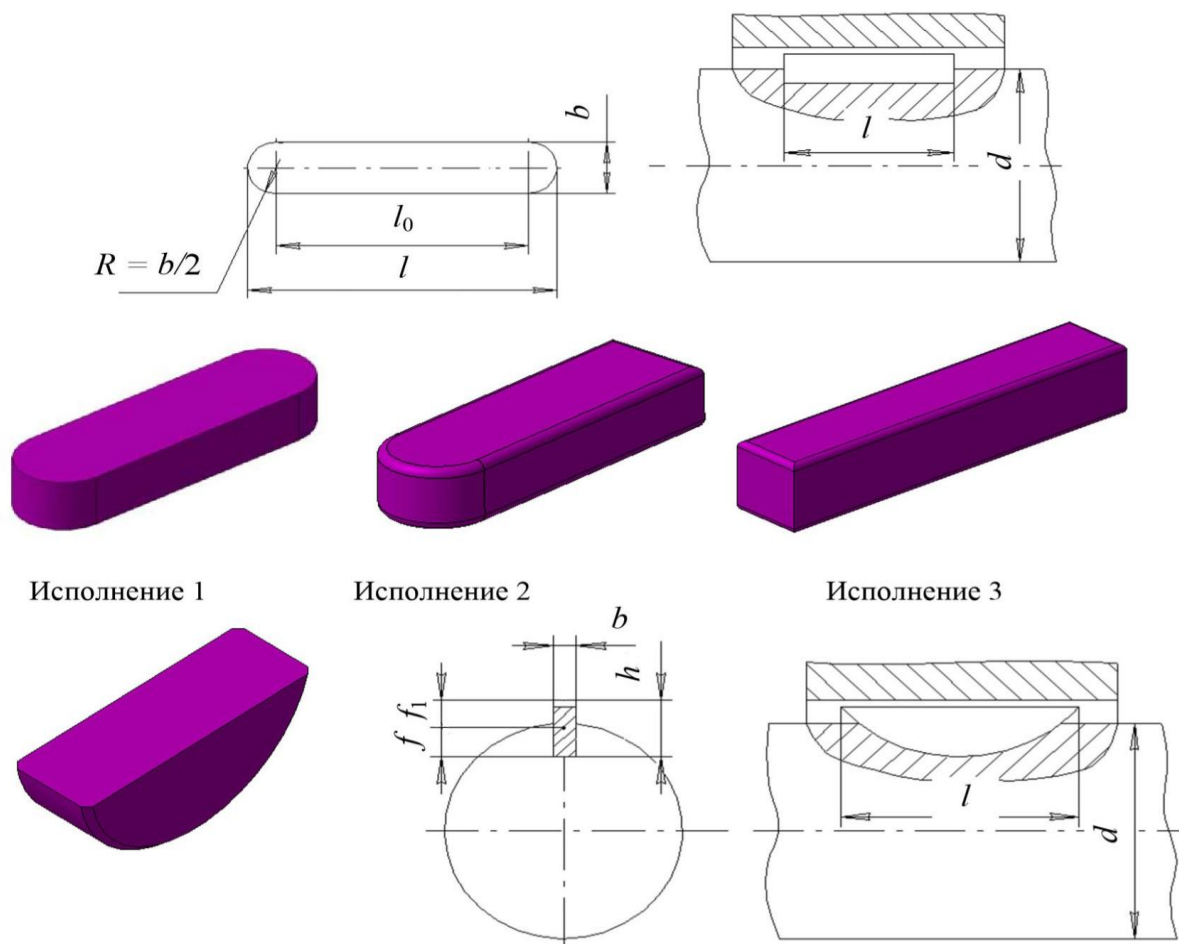
Недостаток – наличие концентраторов напряжения, понижающих их прочность.

Оценка работоспособности болтовых соединений.

Шпоночные соединения.

Шпоночные соединения состоят из вала, шпонки и ступицы колеса (шкива или другой детали).

Шпонка – это деталь, устанавливаемая в пазах двух соприкасающихся



деталей и препятствующая относительно повороту или сдвигу этих деталей.

Шпоночные соединения предназначены для передачи крутящего момента от вала к сидящим на нем деталям и наоборот.

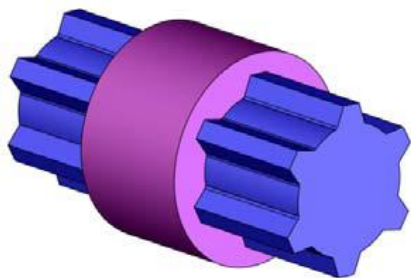
Достоинства шпоночного соединения – конструктивная простота и сравнительная легкость сборки и разборки.

Недостатки шпоночного соединения:

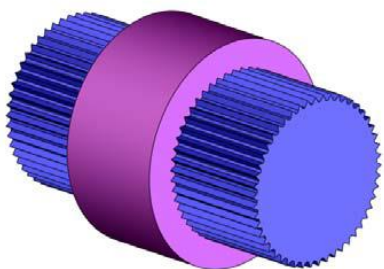
- ослабление вала;
- необходимость применения длинных ступиц;
- технологическая сложность обеспечения необходимой точности, которая заключается в соблюдении двух технологических параметров;
- при любом способе сборки шпоночного соединения заметно возрастает торцевое биение сидящей на валу детали, особенно заметное при корот-

Шлицевые соединения.

Шлицевые соединения широко применяются в машиностроении и в основном используются для передачи значительных нагрузок.



Все размеры их стандартизованы. Шлицевые соединения образуются выступами – зубьями на валу и соответствующими впадинами (пазами) в ступице. Рабочими поверхностями являются боковые стороны зубьев.



Достоинства шлицевых соединений по сравнению со шпоночными:

–обеспечивается лучшее центрирование соединяемых деталей и более точное направление при осевом перемещении;

–уменьшается число деталей соединения. Шлицевое соединение образуют две детали, шпоночное – три-четыре;

–при одинаковых габаритах допускают передачу больших вращающих моментов за счет большей поверхности контакта;

–обеспечивается высокая надежность при динамических и реверсивных нагрузках вследствие равномерного распределения нагрузки по зубьям;

–вал зубьями ослабляется незначительно;

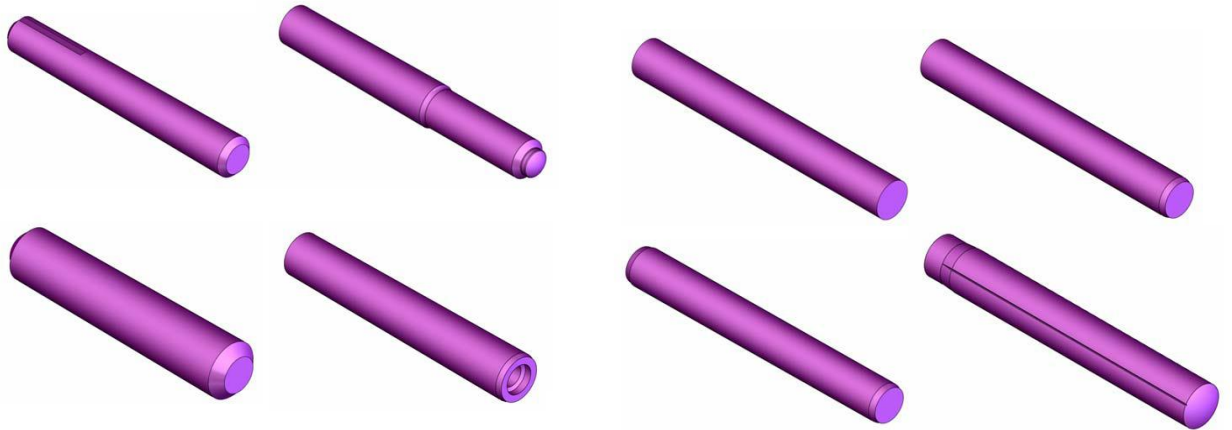
–уменьшается длина ступицы.

Недостатками шлицевых соединений по сравнению со шпоночными является более сложная технология изготовления, а следовательно, и более высокая стоимость.

Штифтовые соединения.

Штифтовые соединения используются в конструкциях:

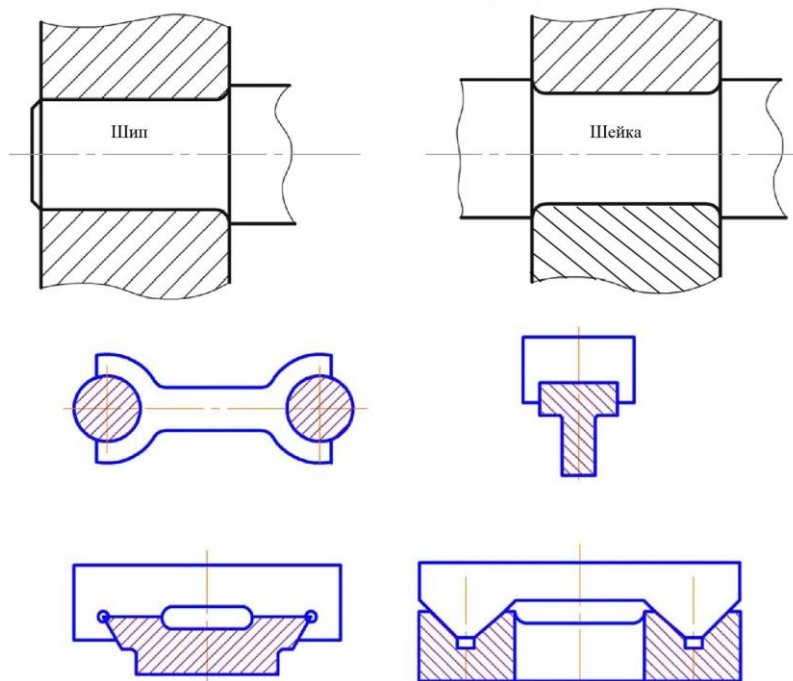
–для передачи крутящего момента с одновременной фиксацией положения деталей по отношению друг к другу;



–для передачи сдвигающих сил и фиксации взаимного положения деталей при повторной сборке.

В первом варианте обычно рекомендуются конические штифты во втором варианте – цилиндрические.

Подшипники скольжения.



Опорные устройства скольжения для вращающихся деталей (валов, осей и др.) называются *подшипниками*, для поступательного движения – *направляющими скольжения*.

Подшипник скольжения является основной частью опоры вала, обеспечивает режим вращения вала в условиях относительного скольжения поверхности цапфы вала по соответствующей поверхности подшипника. Подшипники скольжения воспринимают радиальные и осевые нагрузки, приложенные к валу.

Достоинства подшипников скольжения:

- имеют повышенную долговечность в высокоскоростных механизмах;
- хорошо воспринимают вибрационные и ударные нагрузки;

- работают бесшумно;
- имеют сравнительно малые радиальные размеры;
- допускают установку на шейки коленчатых валов.

Недостатки подшипников скольжения:

- в процессе работы требуют постоянного контроля за состоянием смазочного материала и возможностью перегрева;
- имеют сравнительно большие осевые размеры;
- имеют значительные потери на трение в период пуска и при несовершенной смазке;
- требуют большой расход смазочного материала, его очистку и охлаждение.

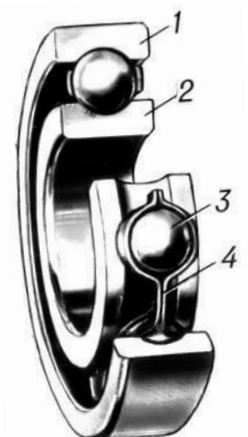
Подшипники скольжения применяют во многих отраслях техники.

Обычно их используют в тех случаях, когда применение подшипников качения невозможно или нецелесообразно:

- для валов изделий, работающих с ударными и вибрационными нагрузками (двигатели внутреннего сгорания, прокатные станы, молоты и др.);
- для валов больших диаметров (валы гидротурбин, валы прокатных станов и др.);
- для валов высокоскоростных машин (центрифуги и др.);
- для устройств повышенной точности (шпиндели станков, опоры механизмов телескопов и др.);
- в тихоходных машинах, бытовой технике;
- в приборах с малыми диаметрами валов и осей (часы, хронометры и др.);
- в машинах, работающих в воде и агрессивных средах.

Подшипники качения – это опоры вращающихся или качающихся деталей, использующие элементы качения (шарики или ролики) и работающие на основе трения качения.

Основные детали подшипников качения.

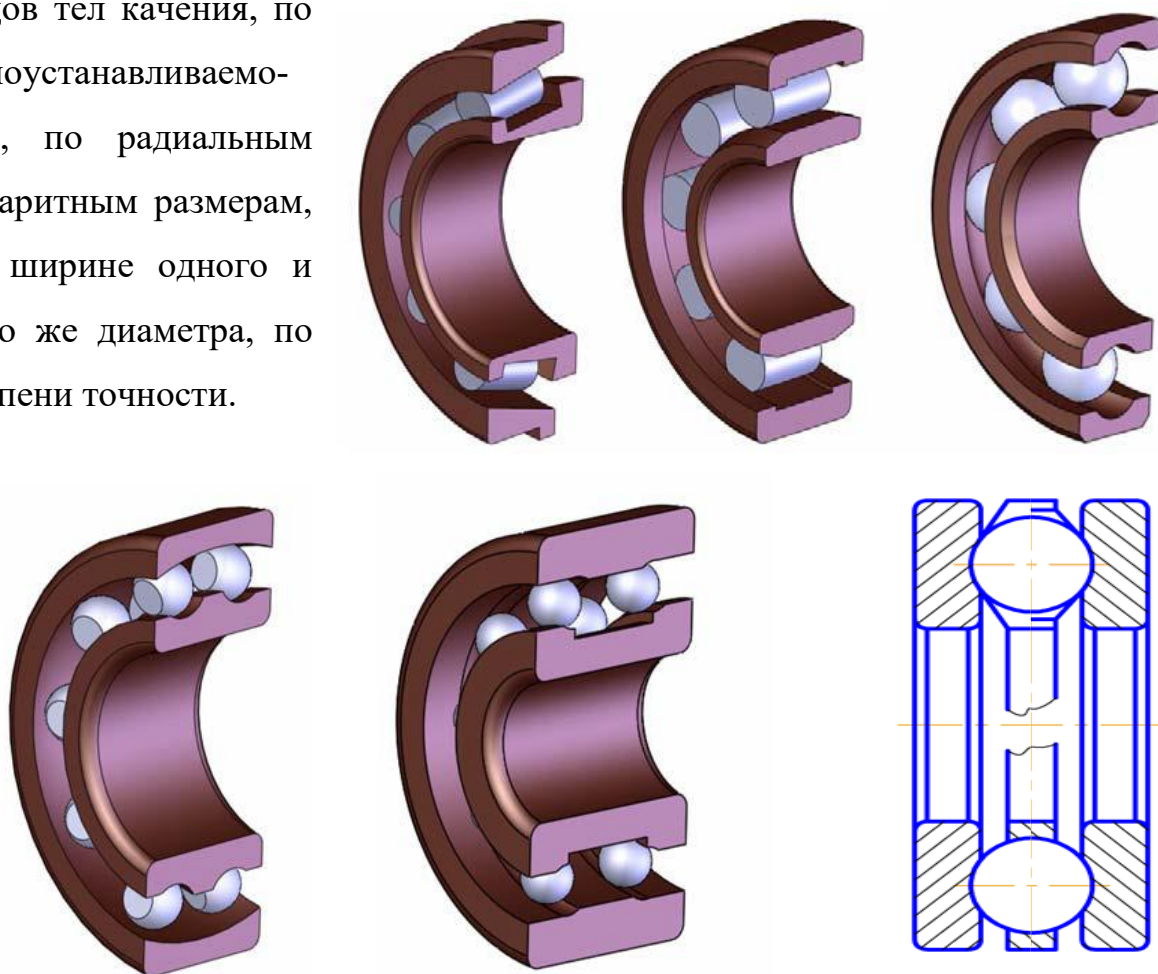


Подшипники качения состоят из следующих деталей: 1 – наружного кольца с диаметром D ; 2 – внутреннего кольца с диаметром отверстия d и шириной B ; 3 – тел качения с диаметром D_w (шариков или роликов), которые катятся по дорожкам качения колец; 4 – сепаратора, отделяющего и удерживающего тела качения в собранном состоянии.

Классификация подшипников качения.

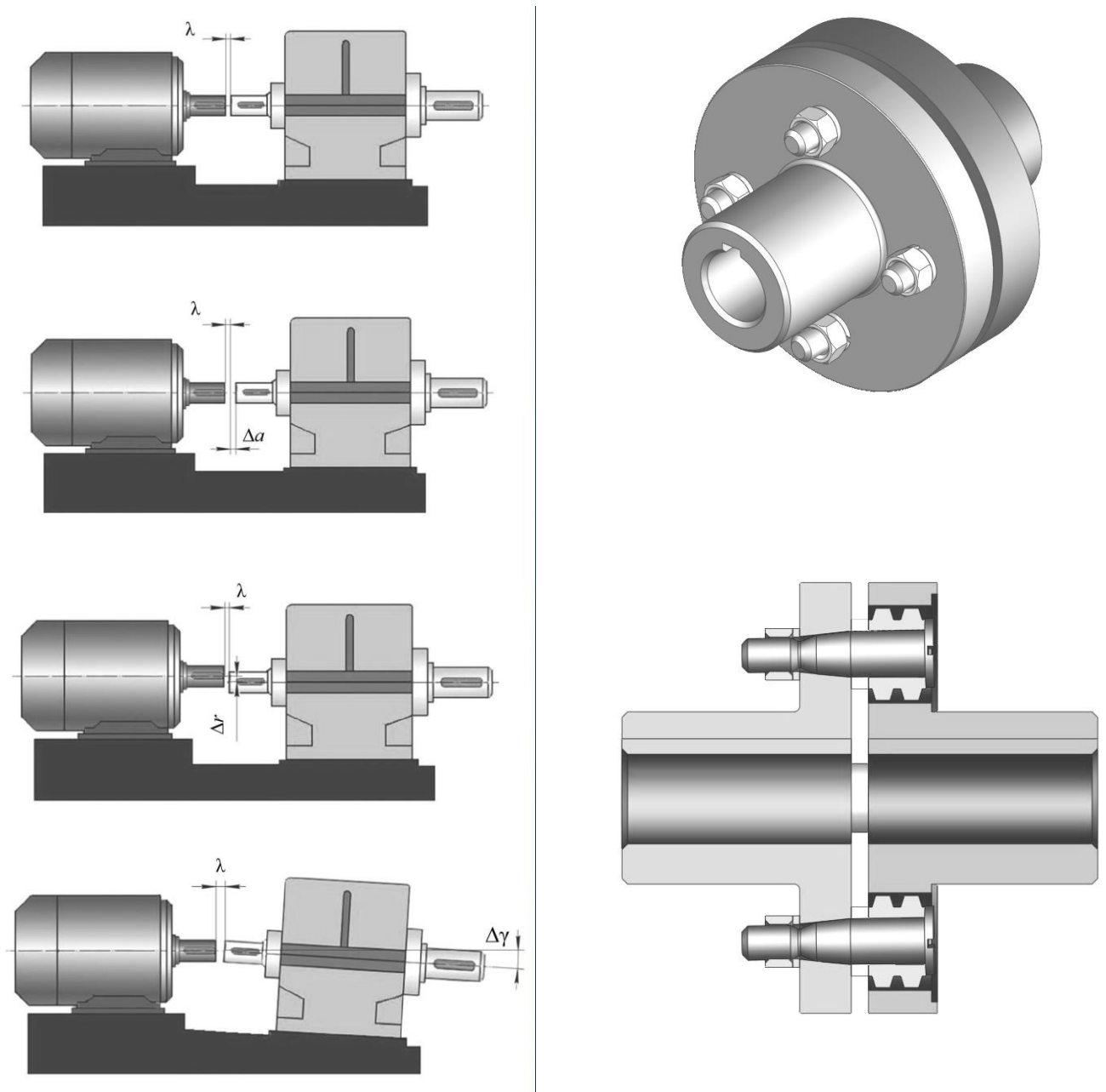
Группирует последние по следующим признакам:

по форме тел качения, по направлению воспринимаемой нагрузки, по числу рядов тел качения, по самоустанавливаемости, по радиальным габаритным размерам, по ширине одного и того же диаметра, по степени точности.



Муфты.

Муфты предназначены для передачи механической энергии – крутящего момента между двумя соединенными валами. В зависимости от условий эксплуатации муфты могут соединять валы постоянно, либо периодически при помощи оператора, либо по достижении определенных условий эксплуатации.



В работе механических систем возможны случайные или периодические колебания передаваемого момента, что отрицательно сказывается на динамике машин. Для сглаживания изменений крутящего момента муфта должна обладать упругими свойствами, позволяющими демпфировать (смягчать) случайные изменения момента.

Соединяемые валы при монтаже механизмов с монтажным зазором λ будут иметь погрешности установки, которые можно группировать в виде:

- погрешности осевого смещения валов Δa ;
- погрешности радиального смещения валов Δr ;

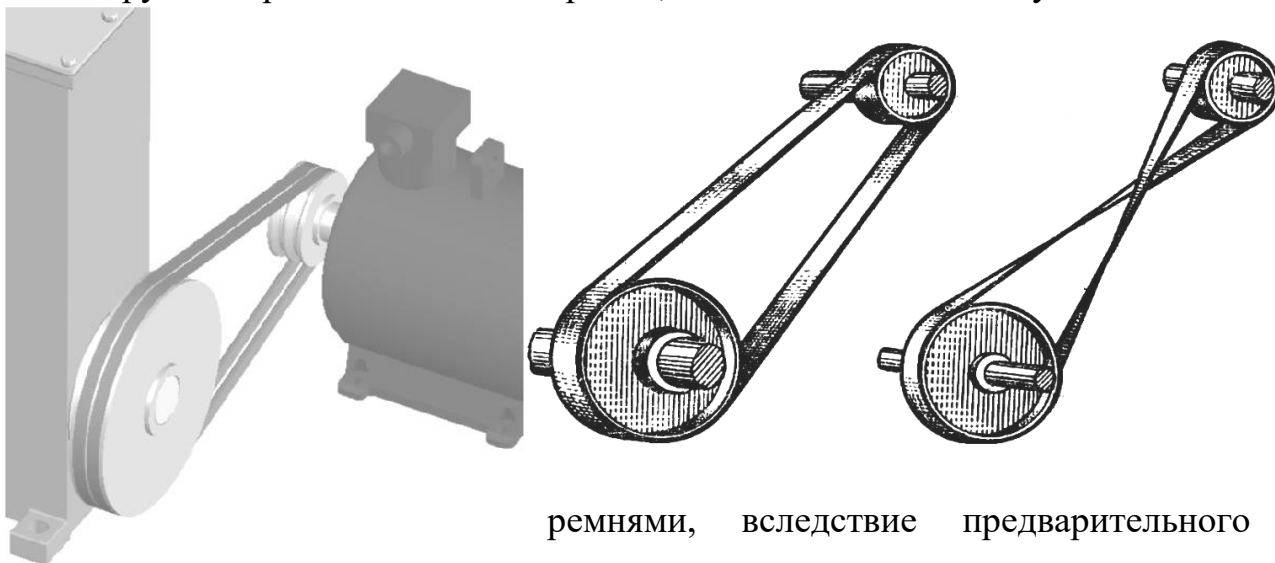
–погрешности углового перекоса валов $\Delta\gamma$.

Чтобы соединить валы между собой с заданными погрешностями монтажа, необходимы муфты, способные компенсировать эти неточности.

Ременная передача.

Простейшая ременная передача состоит из двух шкивов –ведущего и ведомого, закрепленных на валах и ремнях, охватывающих шкивы.

Нагрузка передается силами трения, возникающими между шкивами и



ремнями, вследствие предварительного натяжения ремня.

Применяется ременная передача для привода от электродвигателя небольшой и средней мощности отдельных механизмов. Окружная скорость до 5 м/с для передач с ремнем не рекомендуется. Обычные ременные передачи работают со скоростью до 10 м/с, а быстроходные – до 60–100 м/с.

Достоинства ременных передач:

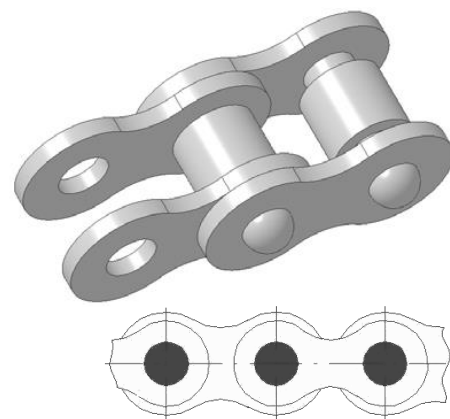
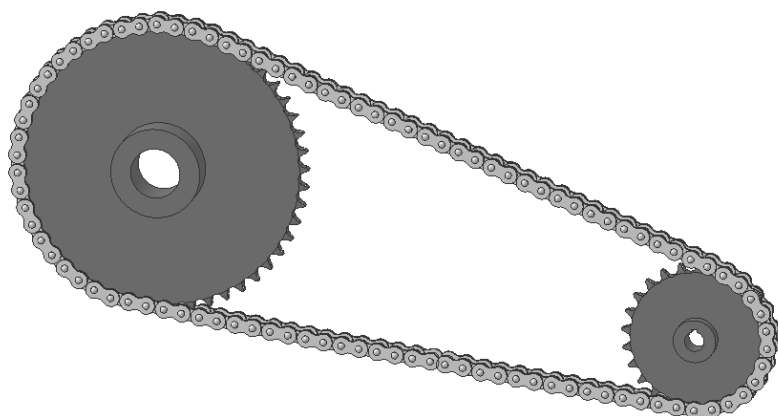
- простота конструкции и эксплуатации, относительно низкая стоимость;
- плавность и бесшумность работы, обусловленная эластичностью ремня;
- смягчения вибраций и толчков благодаря упругости ремня;
- возможность предохранения механизмов от перегрузок за счет упругой вытяжки ремня и проскальзывания ремня;
- пониженные требования к точности взаимного расположения осей валов.

Недостатки ременных передач:

- непостоянство передаточного числа из-за упругого проскальзывания ремня, в зависимости от величины нагрузки;
- значительные габариты;
- незначительная долговечность ремней (1000–5000 ч) в быстроходных передачах;
- необходимость в постоянном контроле во время работы из-за возможного соскакивания, обрыва и вытяжки ремней.

Цепные передачи.

Цепную передачу относят к передачам зацеплением с гибкой связью.

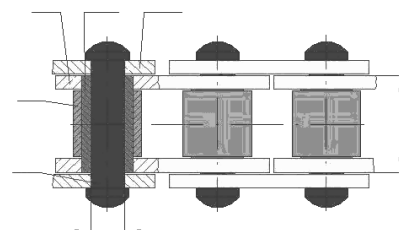


Движение передает шарнирная цепь, охватывающая ведущую и ведомую звездочки и зацепляющаяся за их зубья.

Цепные передачи выполняют как понижающими, так и повышающими.

Достоинства цепных передач:

- по сравнению с зубчатыми передачами цепные передачи могут передавать движение между валами при значительных межосевых расстояниях;
- по сравнению с ременными передачами цепные более компактные, передают большие мощности, имеют возможность применения в значительном диапазоне межосевых расстояний, требуют значительно меньшей силы пред-



варительного натяжения, обеспечивают постоянство передаточного числа (отсутствует скольжение и буксование), обладают высоким КПД;

–могут передавать движение одной цепью нескольким ведомым звездочкам.

Недостатки цепных передач:

–значительный шум при работе вследствие удара звена цепи о зуб звездочки при входе в зацепление, особенно при малых числах зубьев и большом шаге, что ограничивает применение цепных передач при больших скоростях;

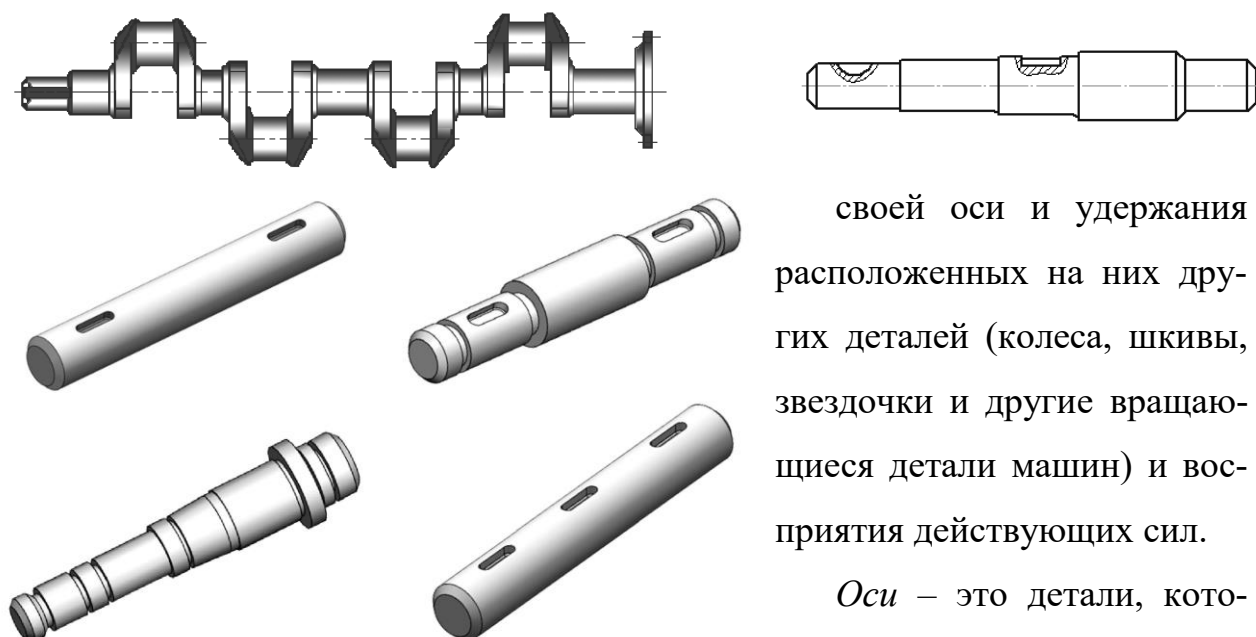
–сравнительно быстрое изнашивание шарниров цепи (увеличение шага цепи), необходимость применения системы смазывания и установки в закрытых корпусах;

–удлинение цепи из-за износа шарниров и сход ее со звездочек, что требует применения натяжных устройств.

Цепные передачи применяют в станках, мотоциклах, велосипедах, промышленных роботах, буровом оборудовании, строительно-дорожных, сельскохозяйственных, полиграфических и других машинах для передачи движения между параллельными валами на значительные расстояния, когда применение зубчатых передач нецелесообразно, а использование ременных передач невозможно.

Валы и оси.

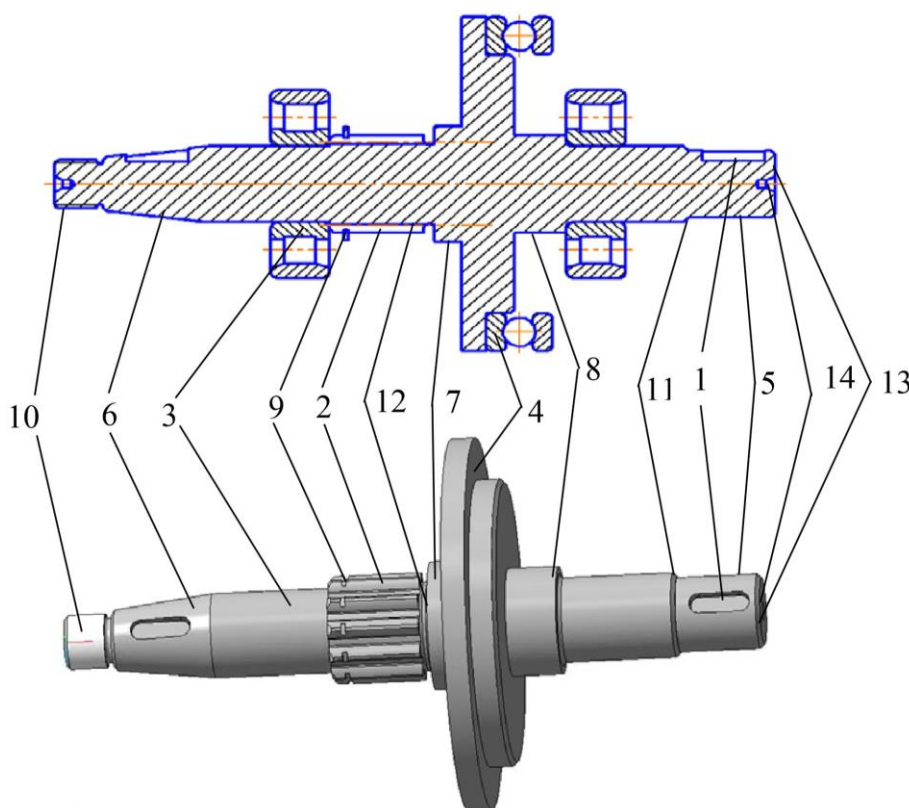
Валы – это детали, служащие для передачи вращающего момента вдоль



своей оси и удержания расположенных на них других деталей (колеса, шкивы, звездочки и другие вращающиеся детали машин) и восприятия действующих сил.

Оси – это детали, которые только удерживают установленные на них детали и воспринимают действующие на эти детали

силы (ось не передает полезного крутящего момента). Оси могут быть неподвижными и вращающимися вместе с насаженными на них деталями. Вращающиеся оси обеспечивают лучшие условия работы подшипников, неподвижные дешевле, но требуют встройки подшипников во вращающиеся на осях детали.

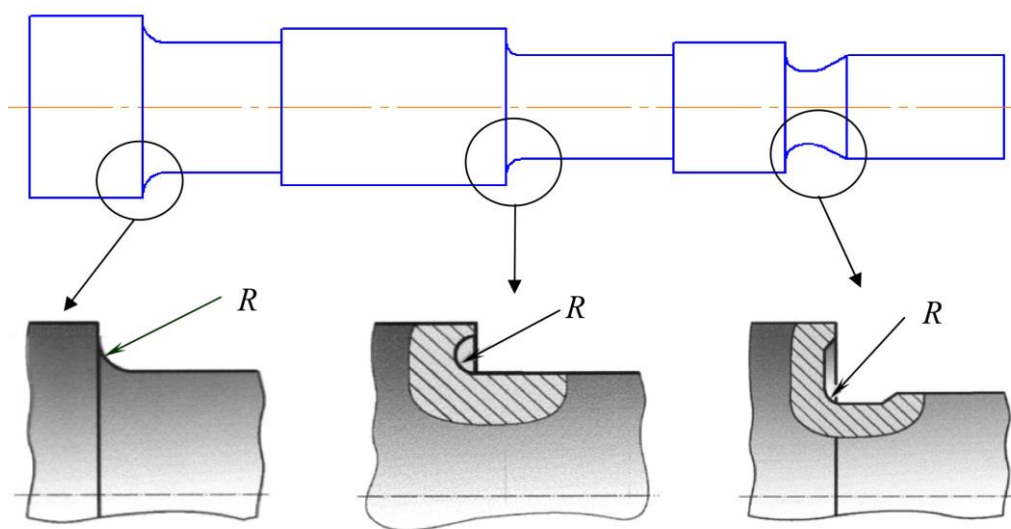


Конструкции валов и осей.

Наиболее распространена ступенчатая форма вала. Детали закрепляются на валах чаще всего шпонками, шлицами или посадками с гарантированным натягом. Опорные части валов и осей называются цапфами. Промежуточные цапфы именуется шейками, концевые – шипами. Опорные участки, воспринимающие осевую нагрузку, называются пятнами. Опорами для пят служат подпятники. На рисунке приведены конструктивные элементы валов, где 1 – шпонка призматическая, 2 – шлицы, 3 – цапфа, 4 – пятно, 5 – цилиндрическая поверхность, 6 – коническая поверхность, 7 – уступ, 8 – заплечик, 9 – канавка под стопорное кольцо, 10 – резьбовой участок, 11 – галтель, 12 – канавка под стопорное кольцо, 13 – фаска, 14 – центровое отверстие. Цапфы валов и осей, работающие в подшипниках качения, почти всегда бывают цилиндрическими, а в подшипниках скольжения – цилиндрическими, коническими или сферическими.

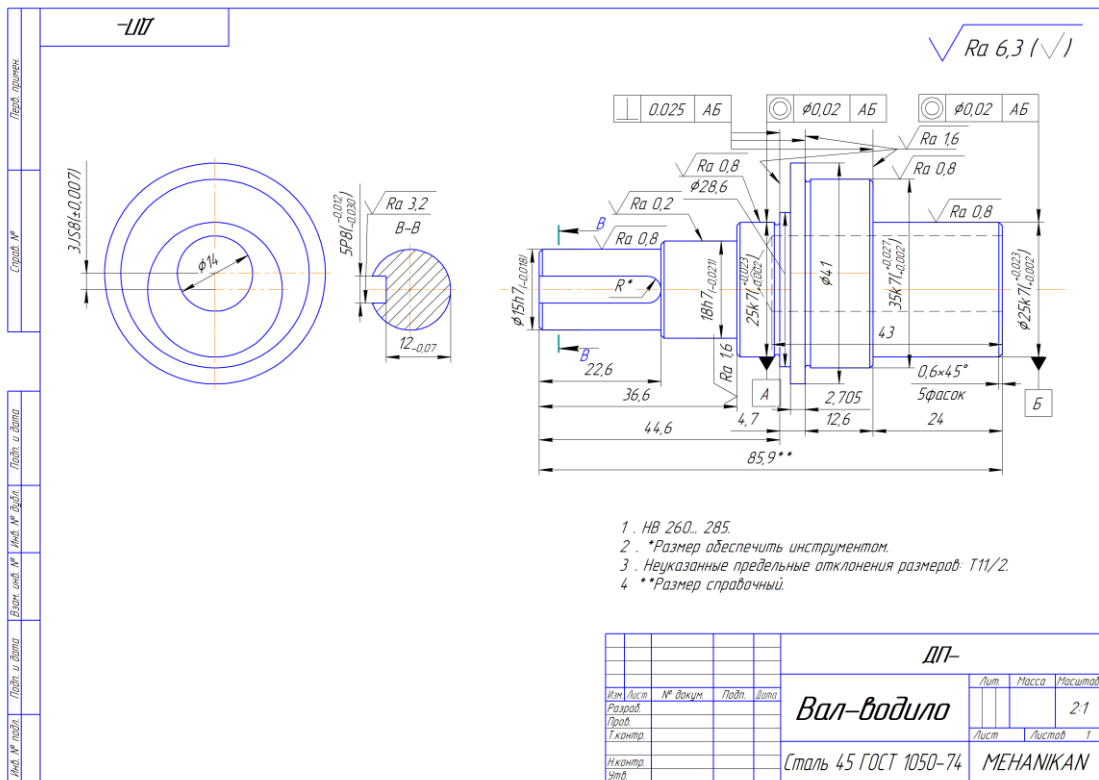
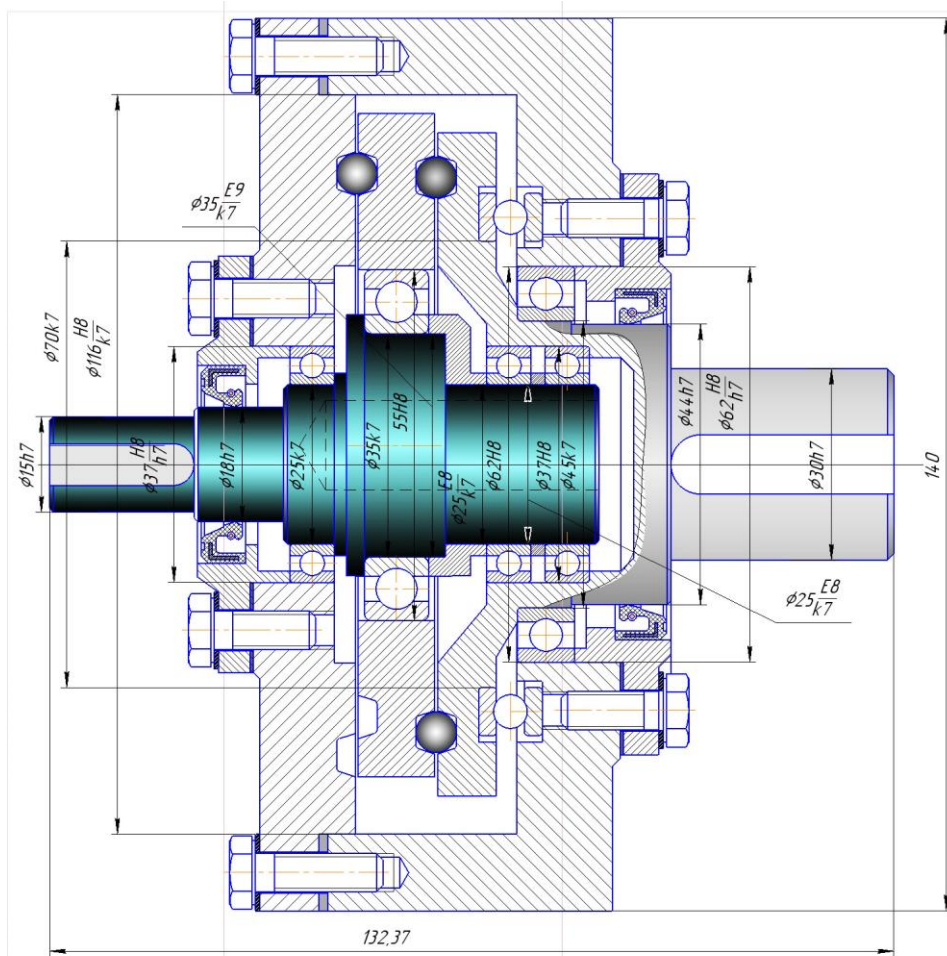
Посадочные поверхности под ступицы разных деталей, насаживаемых на вал, и концевые участки валов выполняют цилиндрическими или коническими. Конические поверхности применяют для обеспечения быстросъемности и заданного натяга, повышения точности центрирования деталей.

Для осевого фиксирования деталей и самого вала используют уступы и заплечики вала, конические участки вала, стопорные кольца и резьбовые участки под гайки.



Переходные участки от одного участка вала к другому и торцы валов выполняют с

канавками, фасками и галтелями.



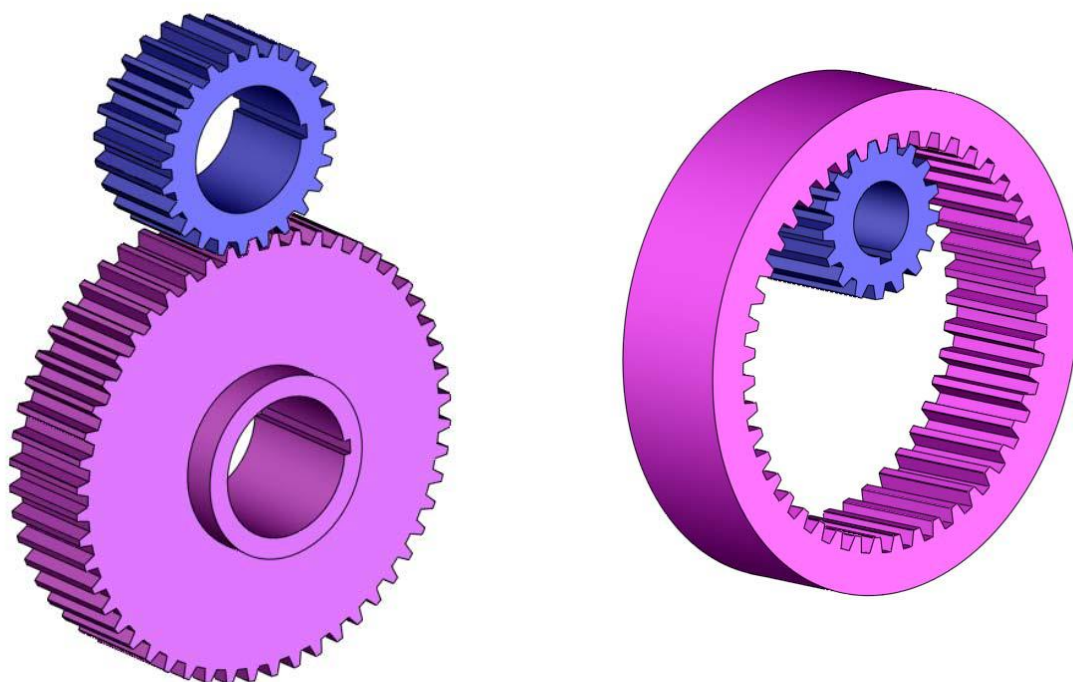
Радиус R галтели постоянного радиуса выбирают меньше радиуса закругления или радиального размера фаски насаживаемых деталей. Галтели специальной эллиптической формы и с поднутрением или чаще галтели, очерчиваемые двумя радиусами кривизны, применяют при переходе галтели в ступень меньшего диаметра (дает возможность увеличения радиуса в зоне перехода). Применение канавок может быть рекомендовано для ответственных деталей, так как они вызывают значительную концентрацию напряжений и понижают прочность валов при переменных напряжениях. Канавки применяются для выхода шлифовальных кругов (существенно повышают их стойкость при обработке), а также на концах участков с резьбой для выхода резьбонарезного инструмента.

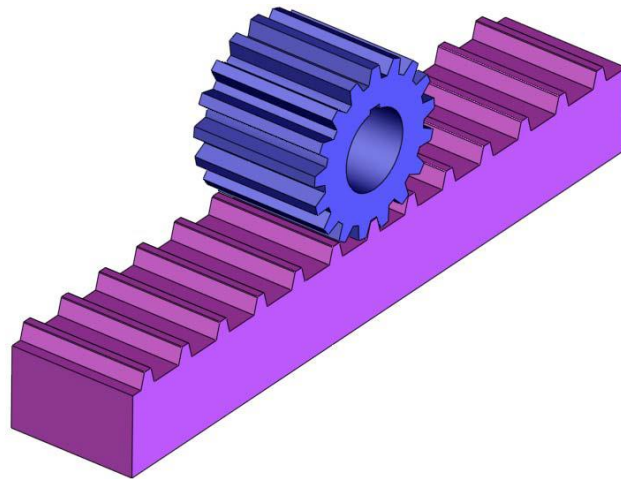
Торцы валов, во избежание обмятий и повреждения рук рабочих, для облегчения насадки деталей выполняют с фасками. Механическую обработку валов производят в центрах, поэтому на торцах валов следует предусмотреть центровые отверстия.

Конструктивные особенности зубчатых колес.

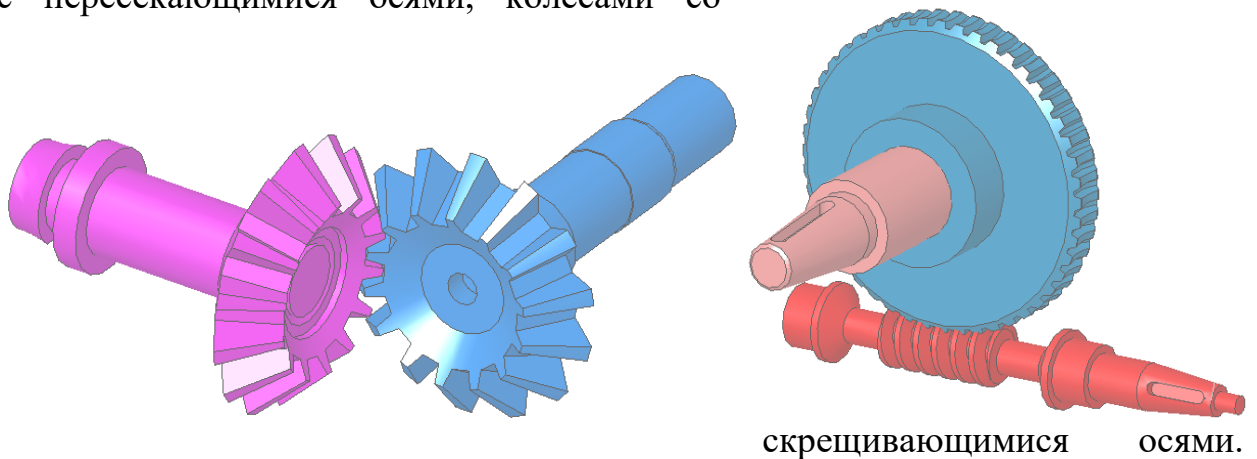
Классификация конструкций зубчатых колес:

—по относительному расположению колес: с внешним, с внутренним и с реечным зацеплением.



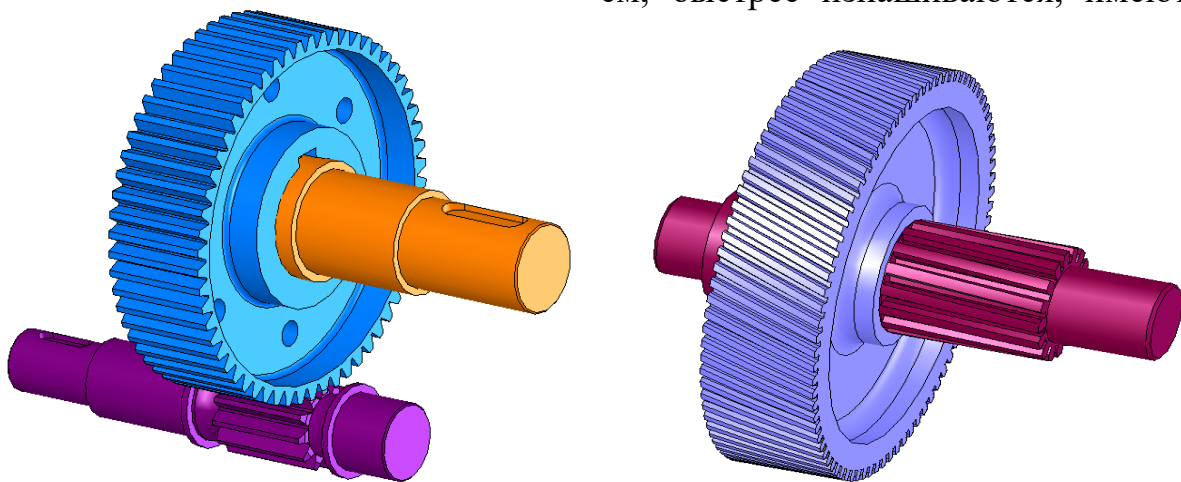


—по взаимному расположению осей валов: различают передачи цилиндрическими колесами с параллельными осями валов, коническими колесами с пересекающимися осями, колесами со



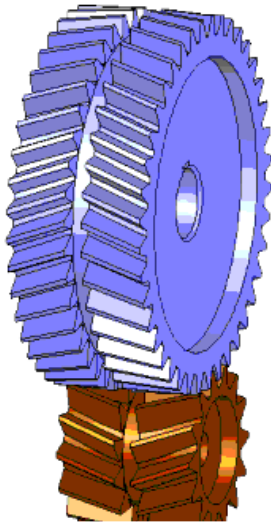
скрещивающимися осями.

Винтовые колеса (червячные передачи) работают с повышенным скольжением, быстрее изнашиваются, имеют ма-



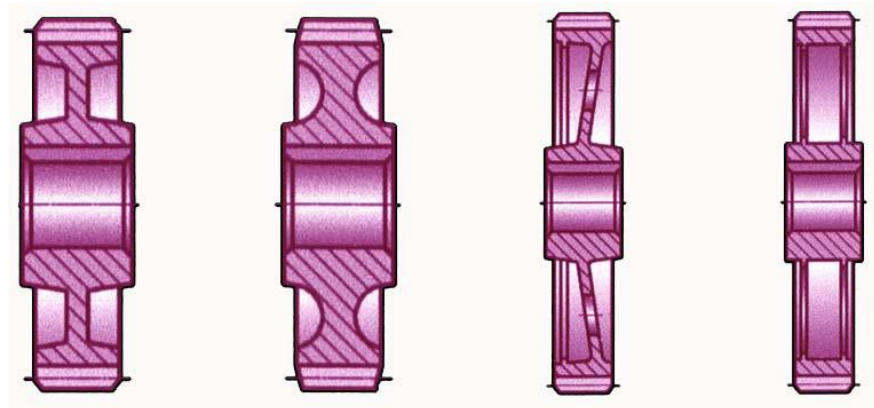
лую нагрузочную способность, но обладают свойствами самоторможения

—по расположению зубьев относительно образующей обода колеса:

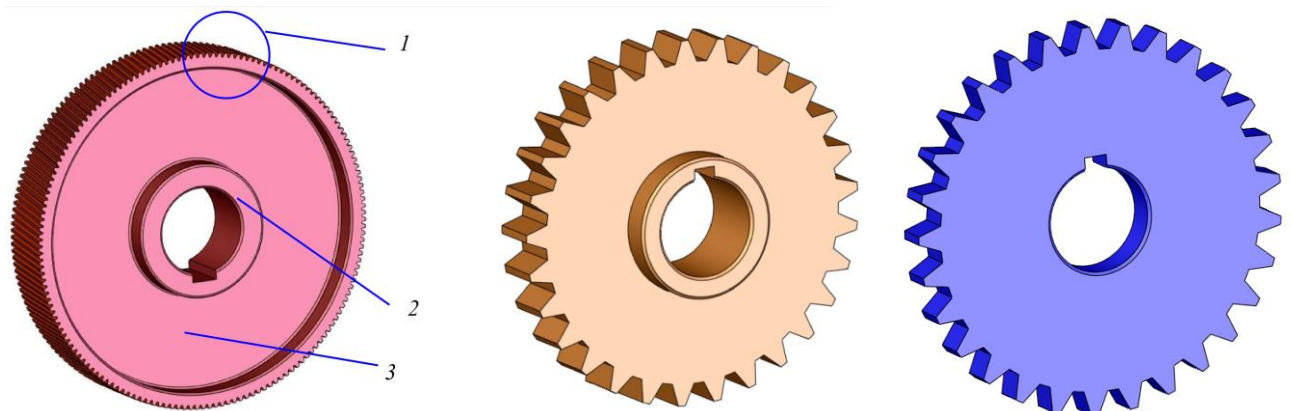


различают передачи прямозубые, косозубые, шевронные и с круговыми зубьями. Косозубые передачи имеют большую плавность зацепления, меньше шумят, технологически равноценны прямозубым, но в передаче возникают дополнительные осевые нагрузки. Сдвоенная косозубая со встречными наклонами зубьев (шевронная) передача имеет все преимущества косозубой и уравновешенные осевые силы. Но передача несколько сложнее в изготовлении и монтаже.

—по конструктивным элементам колеса. На рисунках показаны примеры конструкций зубчатых колес.



Зубчатый венец *1* представляет собой цилиндрическое кольцо, на поверхности которого снаружи или внутри (для внутреннего зацепления) наре-



заны зубья.

Диаметры зубчатого венца и его ширина определяются расчетами по условиям работоспособности. В центре колеса обычно выполняется ступица в виде цилиндрической втулки 2. Ступица может быть одно- и двухсторонней. Она предназначена для установки колеса на валу и соединена с ним с помощью шпонок, шлицов или штифтов. Кроме этого ступица обеспечивает параллельность осей зуба и вала и с этой целью выполняется достаточно длинной.

Для узких зубчатых колес центральный диск не выполняется – зубчатый венец непосредственно переходит в ступицу, а в некоторых случаях колесо выполняется как вал-шестерня, т. е. совместно с валом