Тема 8

Типовые соединения деталей машин

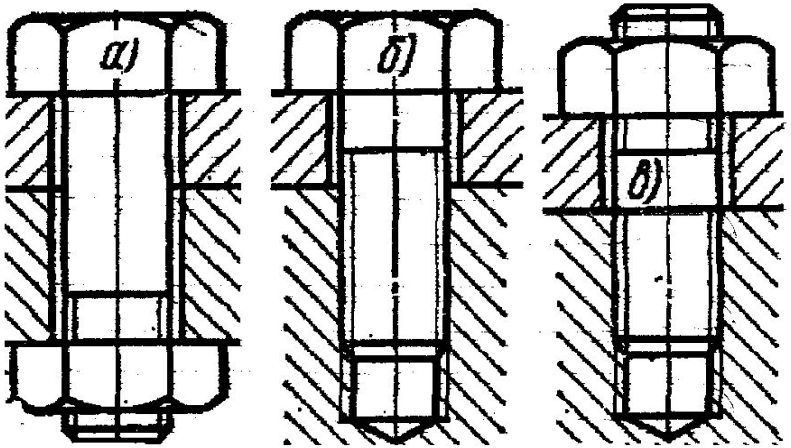
План лекции

- Резьбовые соединения. Общие сведения. Определения и параметры резьбы. Крепежные и ходовые резьбы. Стандартные резьбы общего назначения. Расчет болтов при переменных напряжениях. Расчет витков резьбы. Определение момента на гаечном ключе.
- Заклепочные соединения. Виды заклепок и заклепочных швов. Методика расчета заклепочных швов на прочность и плотность.
- Сварные соединения. Основные виды сварных соединений и типы сварных швов. Расчет сварных швов на прочность.
- Шпоночные и шлицевые соединения. Расчет сегментной и круглой шпонки. Выбор допускаемых напряжений. Расчет зубчатых прямобочных соединений.
- Паяные и клеевые соединения.
- Расчет на прочность.

Резьбовые соединения

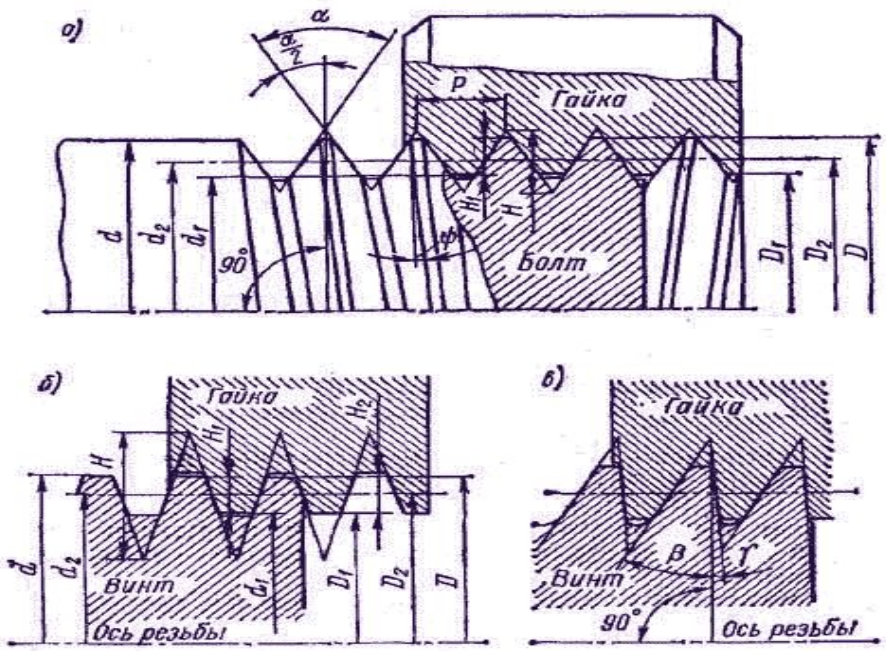
- Основные детали соединения имеют наружную либо внутреннюю винтовую нарезку (резьбу) и снабжены огранёнными поверхностями для захвата гаечным ключом.
- Болт – длинный цилиндр с головкой и наружной резьбой. Проходит сквозь соединяемые детали и затягивается гайкой (а) – деталью с резьбовым отверстием.
- Винт – внешне не отличается от болта, но завинчивается в резьбу одной из соединяемых деталей (б).
- Шпилька – винт без головки с резьбой на обоих концах (в).

РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



Основные параметры резьбы

- Номинальные размеры рассматриваемых параметров резьбы являются одинаковыми для болта (шпильки, винта и т. д.) и гайки.
- Наружный диаметр резьбы *d* (*D*) (рис. 1 а—в) — диаметр воображаемого цилиндра, касательного к вершинам наружной резьбы или впадинам внутренней резьбы. Наружный диаметр для большинства резьб принимается за номинальный диаметр резьбы.



- Внутренний диаметр резьбы d_1 (D_1) (рис. 1) — диаметр воображаемого цилиндра, вписанного касательно к вершинам внутренней резьбы или впадинам наружной резьбы.

- Средний диаметр резьбы d_2 (D_2) (рис. 1) — диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль витков в точках, где ширина канавки равна половине номинального шага P для однозаходной резьбы и для многозаходной резьбы — половине номинального хода t, разделенной на число заходов.

- Шагом резьбы P (рис. 1, а) называется расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля, измеренное в направлении, параллельном оси резьбы.

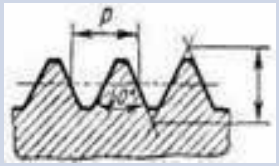
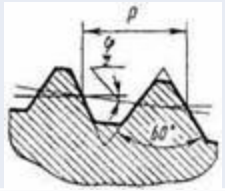
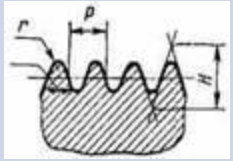
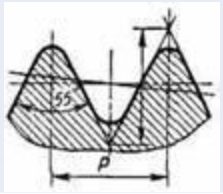
- Углом профиля α (рис. 1, а) называется угол между боковыми сторонами профиля в осевой плоскости.

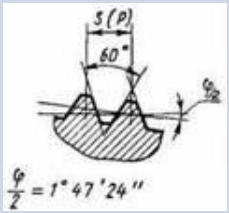
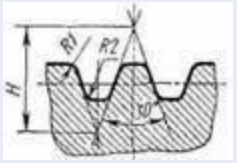
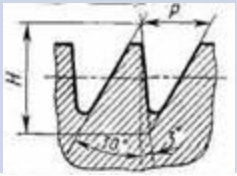
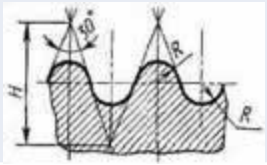
- Углом подъема $\alpha/2$ (рис. 1, а) называется угол между касательной к винтовой поверхности в точке, лежащей на среднем диаметре резьбы, и плоскостью, перпендикулярной оси резьбы.

- Длиной свинчивания (высотой гайки) l называется длина соприкосновения винтовых поверхностей наружной и внутренней резьб в осевом сечении.

- Кроме перечисленных параметров резьбы различают также следующие: высота исходного профиля H, рабочая высота профиля H_1 и высота профиля H_2, измеряемые в направлении, перпендикулярном оси резьбы. Параметры H, H_1, H_2 (рис. 1) выражаются при известных углах наклона профиля (или) в долях шага резьбы P .

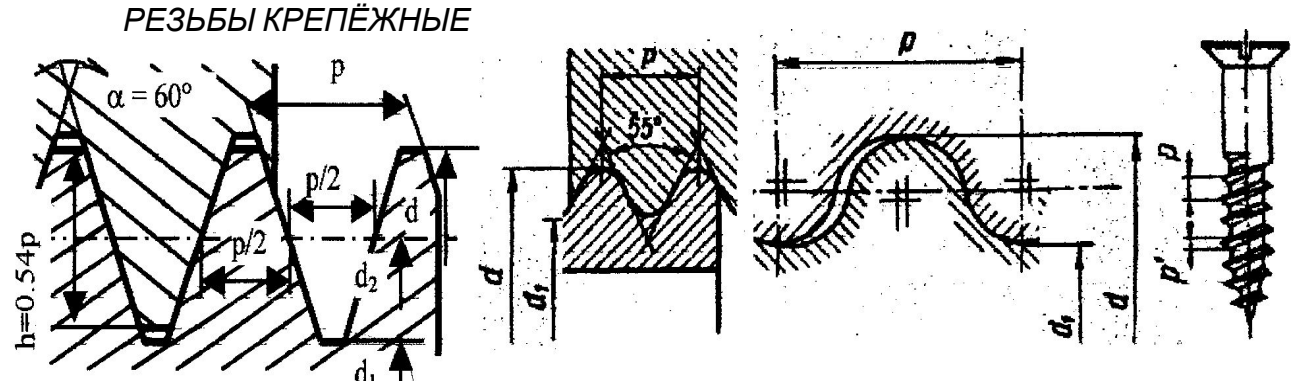
Стандартные резьбы общего назначения

№	Типы резьб	Профиль резьбы
1	Метрическая	
2	Метрическая коническая	
3	Трубная цилиндрическая	
4	Трубная коническая	

№	Типы резьб	Профиль резьбы
5	Коническая дюймовая	
6	Трапецеидальная	
7	Упорная	
8	Круглая	

Крепёжные резьбы

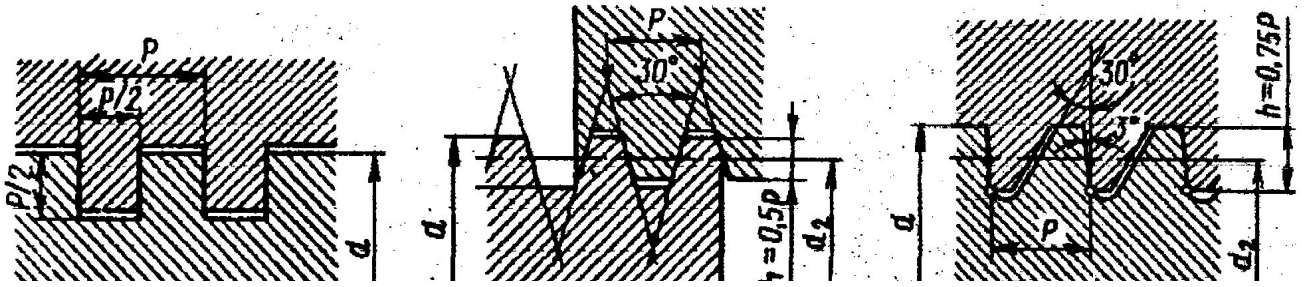
- Применяются для соединения деталей машин друг с другом посредством деталей, имеющих резьбу.
- Для малонагруженных и декоративных конструкций применяются винты и болты с коническими и сферическими головками (как у заклёпок), снабжёнными линейными или крестообразными углублениями для затяжки отвёрткой. Для соединения деревянных и пластмассовых деталей применяют шурупы и саморезы – винты со специальным заострённым хвостовиком.



Ходовые резьбы

- Применяются для преобразования вращательного движения в поступательное, например, в токарных станках, в домкратах и т.д.
- Резьбы ходовые для винтовых механизмов (прямоугольная, трапецеидальна симметричная, трапецеидальная несимметричная упорная) должны обладать малым трением для снижения потерь.

РЕЗЬБЫ ХОДОВЫЕ



ПРЯМОУГОЛЬНАЯ НЕСИММЕТРИЧНАЯ

ТРАПЕЦЕИДАЛЬНАЯ СИММЕТРИЧНАЯ

Расчёт болтов при переменных напряжениях

- Соединение нагружено продольной силой Q. Болт растянут.
- Условие прочности на растяжение запишется в виде:

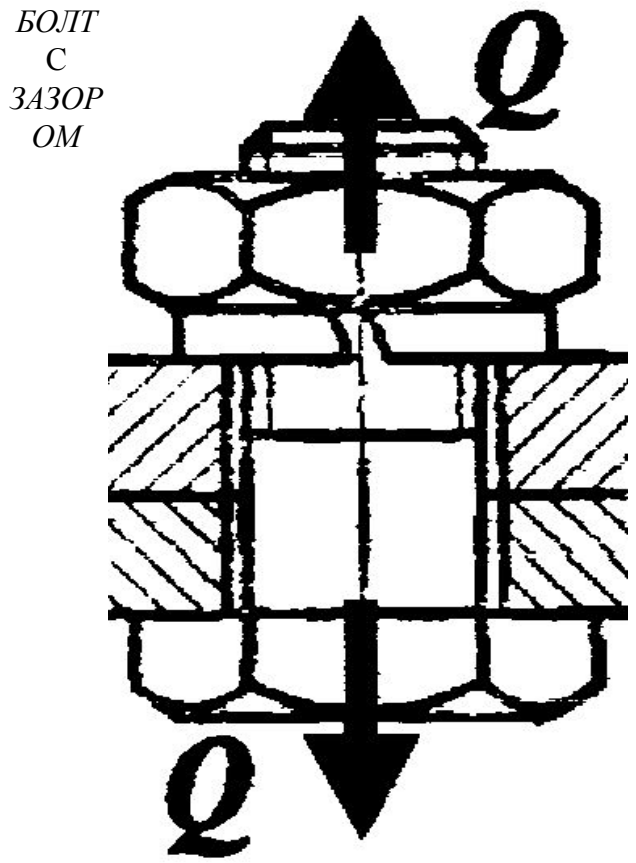
$$\sigma_{раст}^{резьб} \le [\sigma]_{раст}^{резьб}.$$

- Напряжения растяжения в резьбе:

$$\sigma_{раст}^{резьб} = 4Q / \pi d_{внутр}^{2}.$$

- Из условия прочности на растяжение находим внутренний диаметр резьбы болта:

$$d_{внутр} \ge \sqrt{4Q/(\pi [\sigma]_{раст}^{резьбы})}.$$

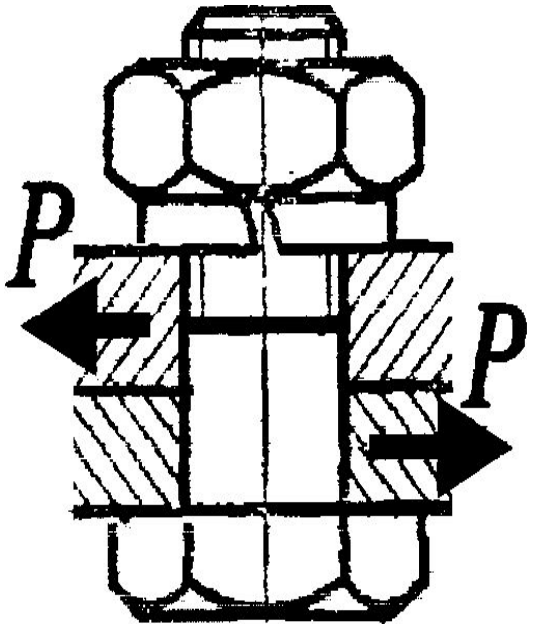


- Соединение нагружено поперечной силой P.

- При этом болт работает на срез. Внутренний диаметр резьбы рассчитывается аналогично случаю с растяжением:

$$d_{внутр} \geq \sqrt{4P/(\pi[\tau]_{срез}^{резьбы})}.$$

БОЛТ БЕЗ ЗАЗОРА

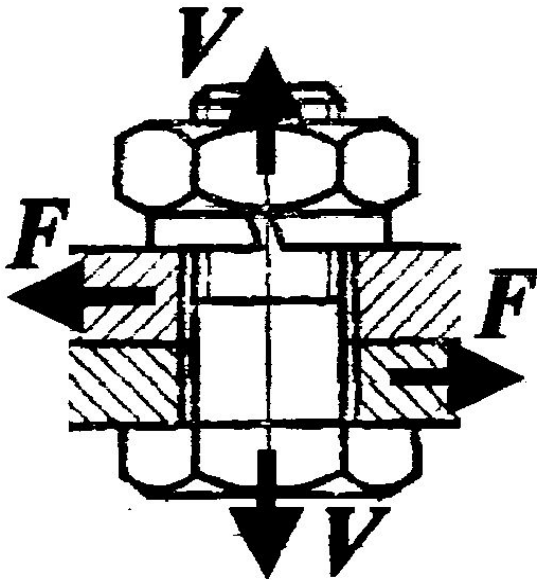


- Соединение нагружено поперечной силой *F*.
- Сила затяжки болта *V* должна дать такую силу трения между деталями, которая была бы больше поперечной сдвигающей силы *F*.
- Болт работает на растяжение, а от момента затяжки испытывает ещё и кручение.
- Тогда:

$$d_{внутр} \geq \sqrt{4 * 1{,}3 * V / (\pi [\sigma]^{резьбы}_{раст})}.$$

где *V = 1,2 F/ f*.

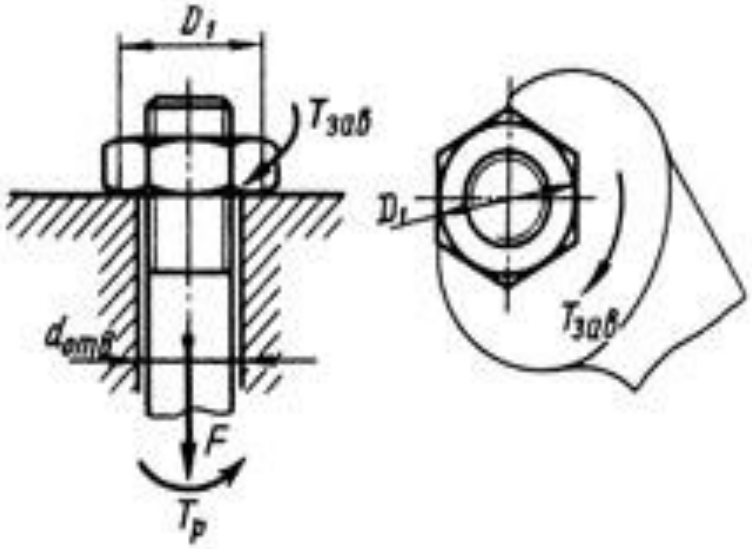
БОЛТ С ЗАЗОРОМ И ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛОЙ



Определение момента на гаечном ключе

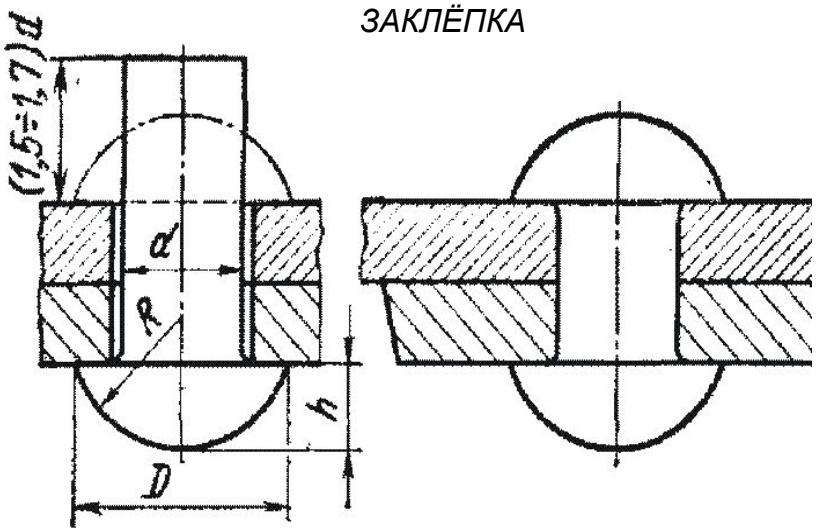
- Резьбовые соединения затягиваю при сборке путём завинчивания гаек (винтов) с помощью гаечных ключей.
- Сила Fкл на рукоятке ключа создаёт момент затяжки:

$$T_{кл} = F_{кл} \cdot L_{кл}$$



Заклёпочные соединения

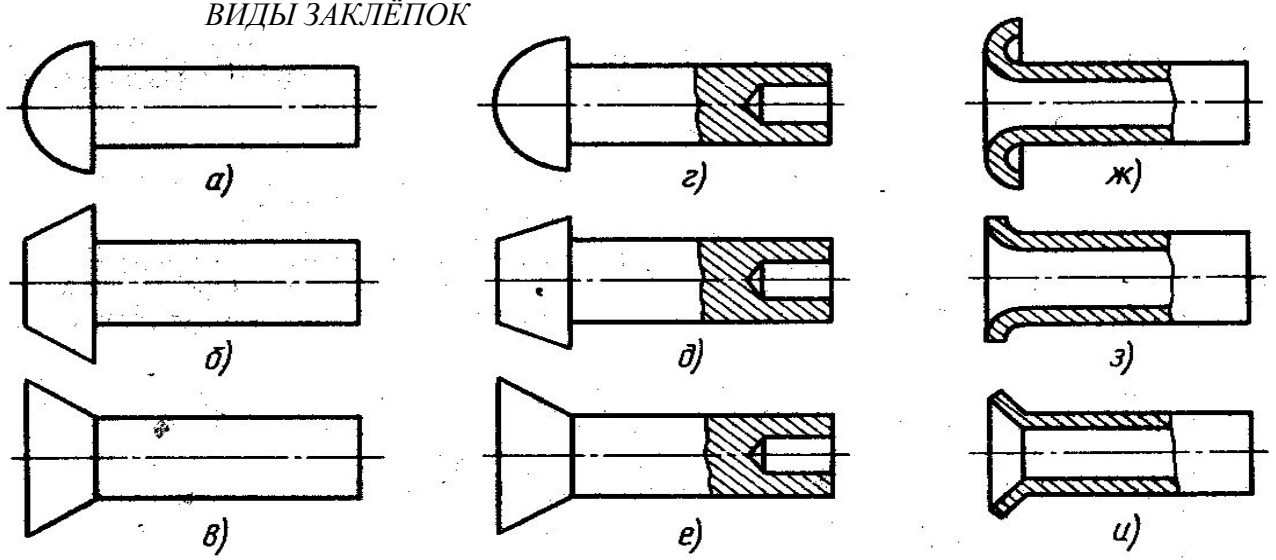
- Образуются с помощью специальных деталей – заклёпок .
- Заклёпка имеет грибообразную форму и выпускается с одной головкой (закладной) вставляется в совместно просверленные детали, а затем хвостовик ударами молотка или пресса расклёпывается, образуя вторую головку (замыкающую).
- При этом детали сильно сжимаются, образуя прочное, неподвижное неразъёмное соединение.



- Заклёпки изготавливают из сравнительно мягких материалов: Ст2, Ст3, Ст10, Ст15, латунь, медь, алюминий.
- Заклёпки стандартизованы и выпускаются в разных модификаций:

- Сплошные с полукруглой головкой (а);
- Сплошные с плоской головкой (б);
- Сплошные с потайной головкой (в);
- Полупустотелые (г, д ,е) и пустотелые (ж, з, и).

ВИДЫ ЗАКЛЁПОК



Расчёт заклёпок на прочность

- Заклёпки испытывают сдвиг (срез) и смятие боковых поверхностей. По этим двум критериям рассчитывается диаметр назначаемой заклёпки. При этом расчёт на срез – проектировочный, а расчёт на смятие – проверочный. Здесь и далее имеем в виду силу, приходящуюся на одну заклёпку.
- При одной плоскости среза диаметр заклёпки:

$$d_{закл} \geq \sqrt{4P/(\pi[\tau]_{срез})}.$$

- При двух плоскостях среза (накладки с двух сторон):

$$d_{закл} \geq \sqrt{2P/(\pi[\tau]_{срез})}.$$

- Напряжения смятия на боковых поверхностях заклёпки

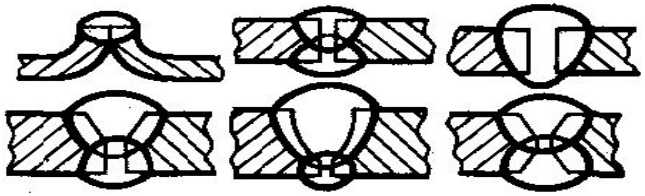
$$\sigma_{см} = P/Sd \leq [\sigma]_{см},$$

где S – толщина наименьшей из соединяемых деталей.

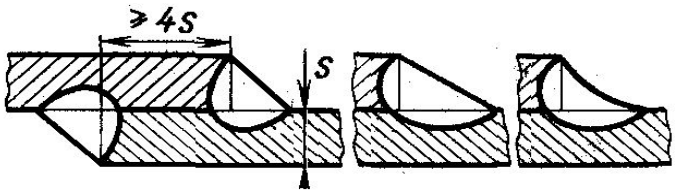
Сварные соединения

- Не имеют соединяющих деталей.
- Выполняются за счёт местного нагрева и диффузии (перемешивания частиц) соединяемых деталей. Создают, практически, одну целую, монолитную деталь.
- Весьма прочны, т.к. используют одну из самых могучих сил природы - силы межмолекулярного сцепления.
- Сварные соединения (швы) по взаимному расположению соединяемых элементов делятся на следующие группы:

ГРУППЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



1. СТЫКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



2. НАХЛЁСТОЧНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

3. ТАВРОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ("Т")

4. УГЛОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Расчёт на прочность сварных соединений

- При расчете сварных соединений на прочность в первую очередь необходимо знать площадь сечения сварного шва.
- Перемножая толщину сварного шва на его длину, получим площадь сечения сварного шва. При растяжении допускаемое усилие в сварном соединении определяется по формуле:

$$P = \sigma_p \cdot S \cdot l.$$

- При сжатии:

$$P = \sigma_{сж} \cdot S \cdot l,$$

где l—длина шва; S — толщина соединяемых элементов; σ_p — допускаемое напряжение в сварном шве при растяжении; $\sigma_{сж}$ — допускаемое напряжение в сварном шве при сжатии.

- Для каждого из швов существуют свои эмпирические зависимости, по которым производится расчёт. Например, при расчете на прочность нахлестного соединения применяют расчетную формулу:

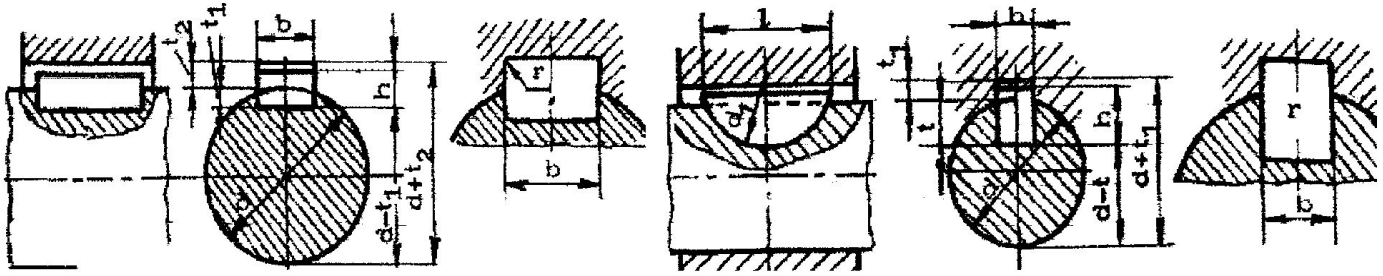
$$P=T_{ср} \cdot 0,7K \cdot l,$$

где P — допускаемое усилие; $T_{ср}$ — допускаемое напряжение наплавленного металла при срезе; K— длина катета; l—длина сварного шва.

Шпоночные соединения

- Передают вращающий момент между валом и колесом. Образуются посредством шпонки, установленной в сопряжённые пазы вала и колеса. Шпонка имеет вид призмы, клина или сегмента, реже применяются шпонки других форм.

ШПОНКИ ПРИЗМАТИЧЕСКИЕ *ШПОНКИ СЕГМЕНТНЫЕ*



Расчёт шпоночных соединений на прочность

- Призматические и сегментные шпонки всех форм испытывают смятие боковых поверхностей и срез по средней продольной плоскости:

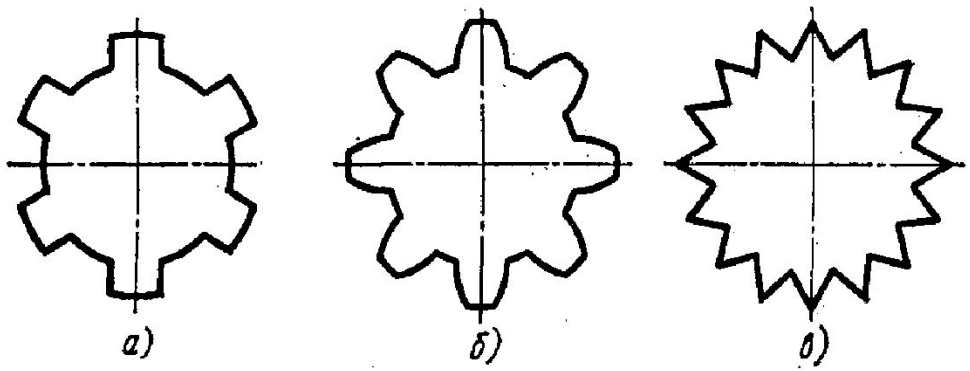
$$\sigma_{смят} = M_{вращ}/(0{,}2hdl) \le [\sigma]_{смят}; \quad \tau_{срез} = 2M_{вращ}/(dbl) \le [\tau]_{срез}$$

h – высота сечения шпонки, *d* – диаметр вала, *b* – ширина сечения шпонки, *l* – рабочая длина шпонки (участок, передающий момент).

Шлицевые соединения

- Образуются выступами на валу, входящими в сопряжённые пазы ступицы колеса. Как по внешнему виду, так и по динамическим условиям работы шлицы можно считать многошпоночными соединениями. Некоторые авторы называют их зубчатыми соединениями.
- В основном используются прямобочные шлицы (а), реже встречаются эвольвентные (б) ГОСТ 6033-57 и треугольные (в) профили шлицов.

ВИДЫ ШЛИЦОВ



Расчёт на прочность шлицевых соединений

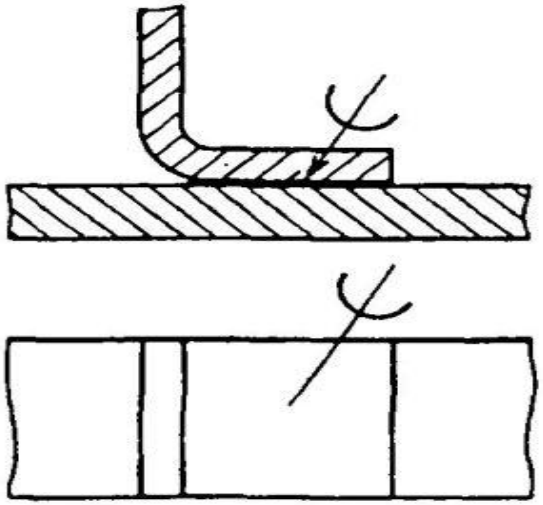
- Смятие и износ связаны с одним параметром – контактным напряжением (давлением) $\boldsymbol{\sigma_{см}}$. Это позволяет рассчитывать шлицы по обобщённому критерию одновременно на смятие и контактный износ. Допускаемые напряжения $\boldsymbol{[\sigma]_{см}}$ назначают на основе опыта эксплуатации подобных конструкций.
- Для расчёта учитывается неравномерность распределения нагрузки по зубьям:

$$\sigma_{см} = 8M_{вращ} /(Zhld_{ср}) \le [\sigma]_{см}$$

где Z – число шлицов, h – рабочая высота шлицов, l – рабочая длина шлицов, $d_{ср}$ – средний диаметр шлицевого соединения. Для эвольвентных шлицов рабочая высота принимается равной модулю профиля, за $d_{ср}$ принимают делительный диаметр.

Паяные соединения

- Пайкой называют процесс соединения металлических или металлизированных деталей с помощью дополнительного связующего материала - припоя, температура плавления которого ниже температуры плавления материала соединяемых деталей.
- В расплавленном состоянии припой смачивает поверхности соединяемых деталей. Соединение происходит путем межатомного сцепления, растворения и диффузии материала деталей и припоя.



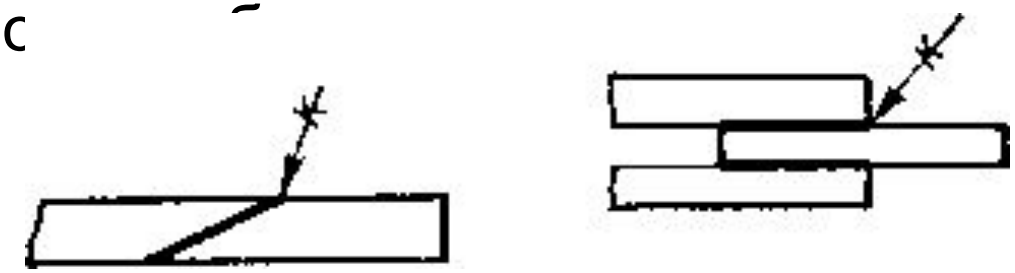
Черт. 4

Расчёт на прочность паяных соединений

- В отличие от сварки пайка сохраняет неизменными структуру, механические свойства и состав материала деталей, вызывает значительно меньшие остаточные напряжения. Прочность паяного соединения определяется прочностью припоя и сцепления припоя с поверхностями соединяемых деталей.
- Например, прочность при срезе соединений, паянных и оловянно-свицовистыми припоями, а также припоями на основе меди и серебра, составляет $(0,8 \div 0,9)\sigma_{вп}$, где $\sigma_{вп}$ - предел прочности припоя.

Клеевые соединения

- Склеиванием называют соединение деталей тонким слоем быстротвердеющего раствора - клея. Процесс склеивания состоит из подготовки соединяемых поверхностей деталей, нанесения клея, соединения деталей и выдержки при определенных давлении и температуре.
- Клеевые соединения применяют для скрепления деталей из различных металлических и неметаллических (стекло, керамика, пластмасса) материалс



Расчёт на прочность клеевых соединений

- Прочность клеевого соединения зависит от способа подготовки поверхностей. Желательно, чтобы они были шероховатые. Для этого применяют механическую (абразивную) и химическую (травление в растворах) обработку.
- Например, при расчёте на прочность клеевого соединения внахлёстку имеет вид:

$$\tau = \frac{F}{bl} \leq [\tau] \ ,$$

где b и l – ширина и длина нахлёстки, [τ] – допускаемое касательное напряжение.

Вопросы для самопроверки

1. В чём различие между разъёмными и неразъёмными соединениями ?
2. Где и когда применяются сварные соединения ?
3. Каковы основные группы сварных соединений ?
4. Где и когда применяются заклёпочные соединения ?
5. В чём состоит принцип конструкции резьбовых соединений ?
6. Какой диаметр резьбы находят из прочностного расчёта ?
7. Какова конструкция и основное назначение шпоночых соединений ?
8. Какова конструкция и основное назначение шлицевых соединений ?
9. За счёт чего происходит соединение пайкой?
10. Какой вид напряжения возникает при расчётах на прочность клеевых соединений?

Вывод

- **В результате изучения дисциплины Прикладная механика студент должен освоить следующие вопросы:**
- **основные понятия курса Прикладная механика;**
- **задачи дисциплины Прикладная механика;**
- **классификацию механических передач;**
- **классификацию видов приводов машин и механизмов;**
- **принципы и подходы к проектированию редукторов, вариаторов и мультипликаторов;**
- **основные типы подшипников качения и скольжения;**
- **показатели и критерии оценки прочности по контактным напряжениям, на изгиб и смятие;**
- **методы количественной оценки величин допускаемых напряжений;**
- **основы теории и расчета механических передач;**
- **расчеты допускаемых напряжений по основным теориям прочности.**

Источники

Основная литература

- Иосилевич Г.Б. Прикладная механика. – М.: Машиностроение, 2000.
- Ковалев Н.А. Прикладная механика. – М.: Высшая школа, 2000.
- Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М., 2004.
- Гузенков П.Г. Детали машин. – М.: Высшая школа, 2006.

Дополнительная литература

- Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – М.: Машиностроение, 2002.
- Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. – М., 2003.
- Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 2003.
- Чубенко Е.Ф. Лабораторный практикум по деталям машин: учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2005.

ВГУЭС