

# Тема 8

**Типовые соединения деталей машин**

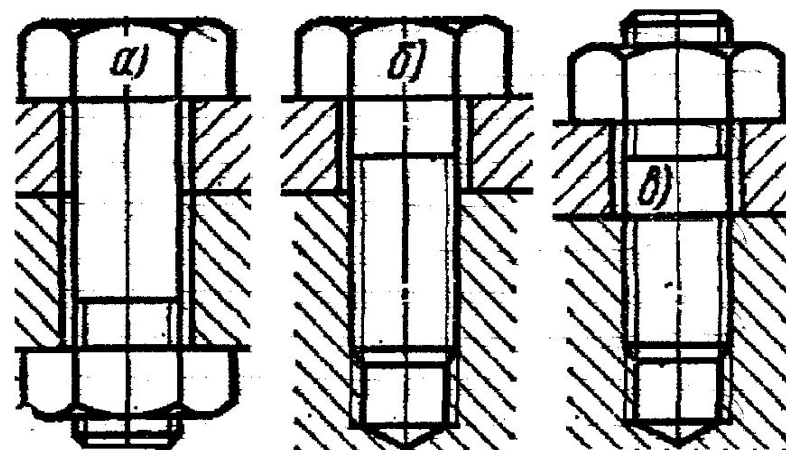
# План лекции

- 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 прямобоочных соединений.
- Паяные и клеевые соединения.
- Расчет на прочность.

# Резьбовые соединения

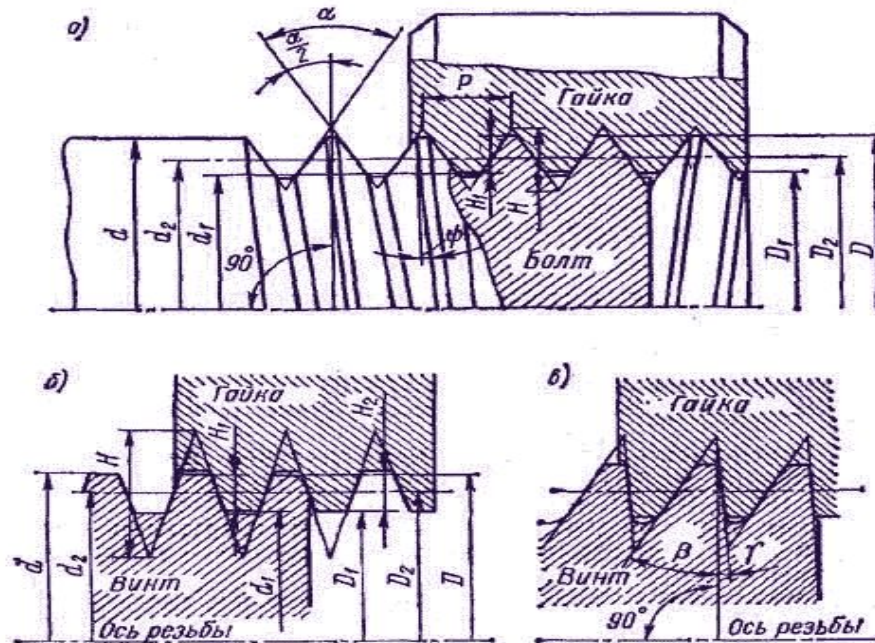
- Основные детали соединения имеют наружную либо внутреннюю винтовую нарезку (резьбу) и снабжены ограниченными поверхностями для захвата гаечным ключом.
- Болт – длинный цилиндр с головкой и наружной резьбой. Проходит сквозь соединяемые детали и затягивается гайкой (а) – деталью с резьбовым отверстием.
- 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

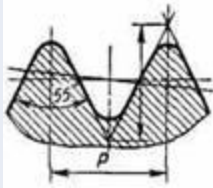
- Номинальные размеры рассматриваемых параметров резьбы являются одинаковыми для болта (шпильки, винта и т. д.) и гайки.
- Наружный диаметр резьбы  $d$  ( $D$ ) (рис. 1 а—в) — диаметр воображаемого цилиндра, касательного к вершинам наружной резьбы или впадинам внутренней резьбы. Наружный диаметр для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

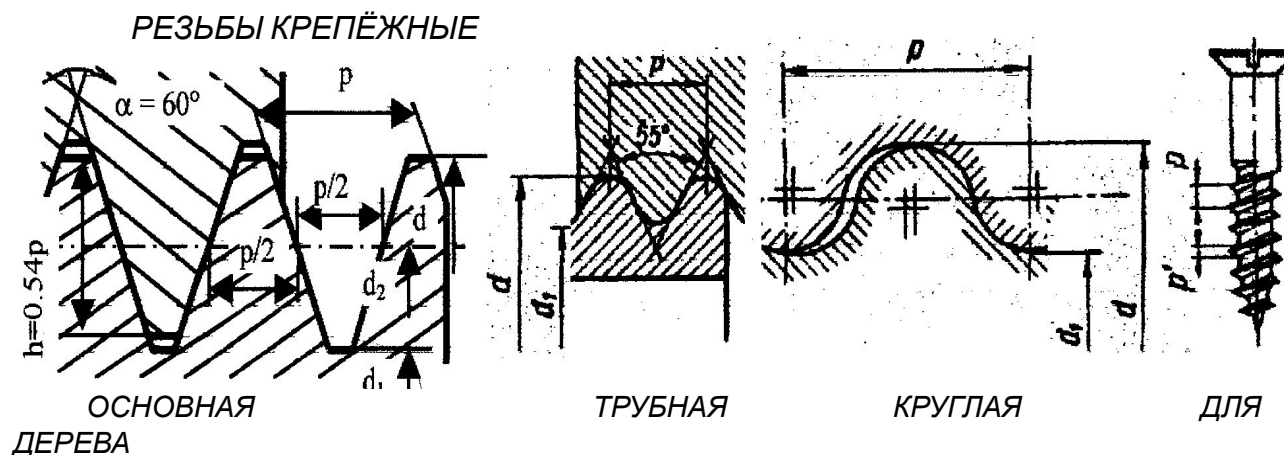
№	Типы резьб	Профиль резьбы
1	Метрическая	
2	Метрическая коническая	
3	Трубная цилиндрическая	
4	Трубная коническая	

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



## Крепёжные резьбы

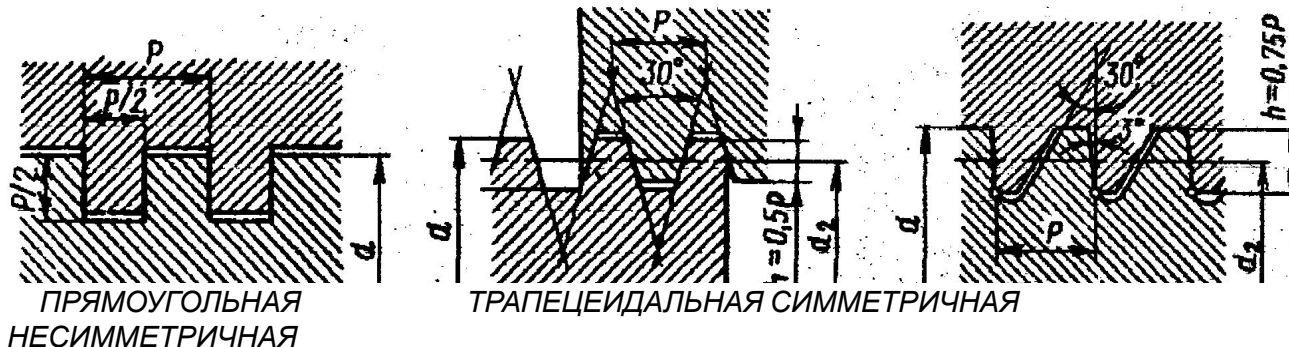
- Применяются для соединения деталей машин друг с другом посредством деталей, имеющих резьбу.
- Для малонагруженных и декоративных конструкций применяются винты и болты с коническими и сферическими головками (как у заклёпок), снабжёнными линейными или крестообразными углублениями для затяжки отвёрткой. 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, трапецеидальная симметричная, трапецеидальная несимметричная упорная) должны обладать малым трением для снижения потерь.

РЕЗЬБЫ ХОДОВЫЕ



## Расчёт болтов при переменных напряжениях

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

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

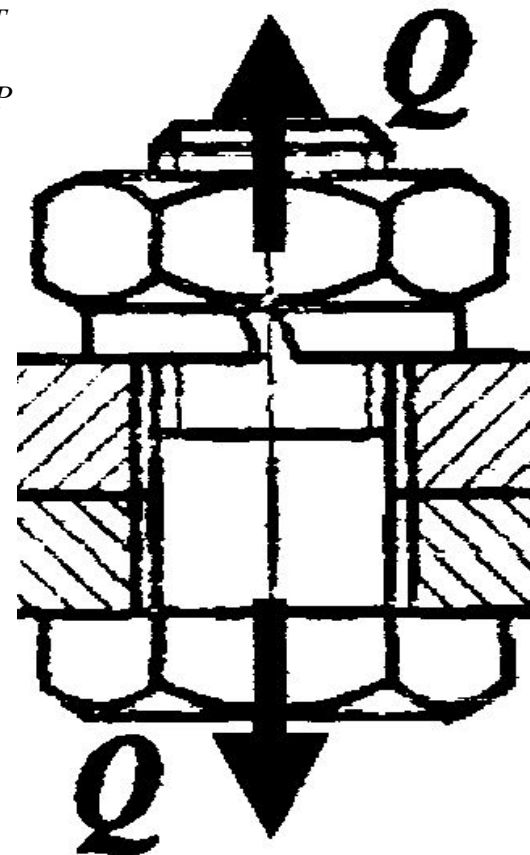
- Напряжения растяжения в резьбе:

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

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

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

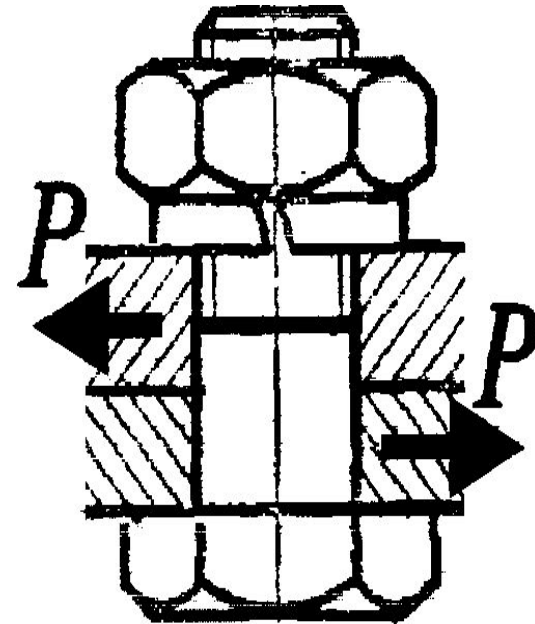
БОЛТ  
С  
ЗАБОР  
ОМ



- Соединение нагружено поперечной силой  $P$ .
- При этом болт работает на срез. Внутренний диаметр резьбы рассчитывается аналогично случаю с растяжением:

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

БОЛТ БЕЗ ЗАЗОРА

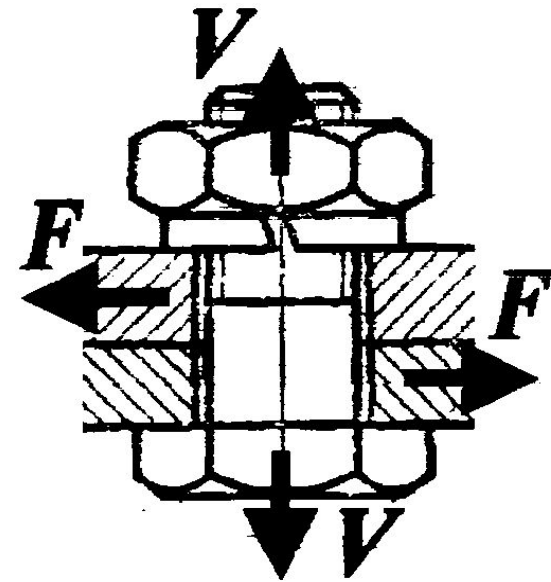


- Соединение нагружено поперечной силой  $F$ .
- Сила затяжки болта  $V$  должна дать такую силу трения между деталями, которая была бы больше поперечной сдвигающей силы  $F$ .
- Болт работает на растяжение, а от момента затяжки испытывает ещё и кручение.
- Тогда:

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

где  $V = 1,2 F / f$ .

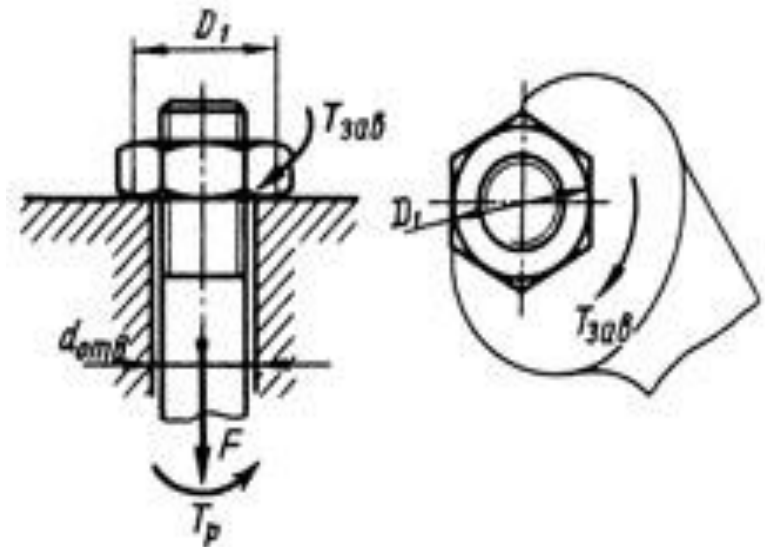
БОЛТ С ЗАЗОРОМ  
И ПОПЕРЕЧНОЙ  
СИЛОЙ



## Определение момента на гаечном ключе

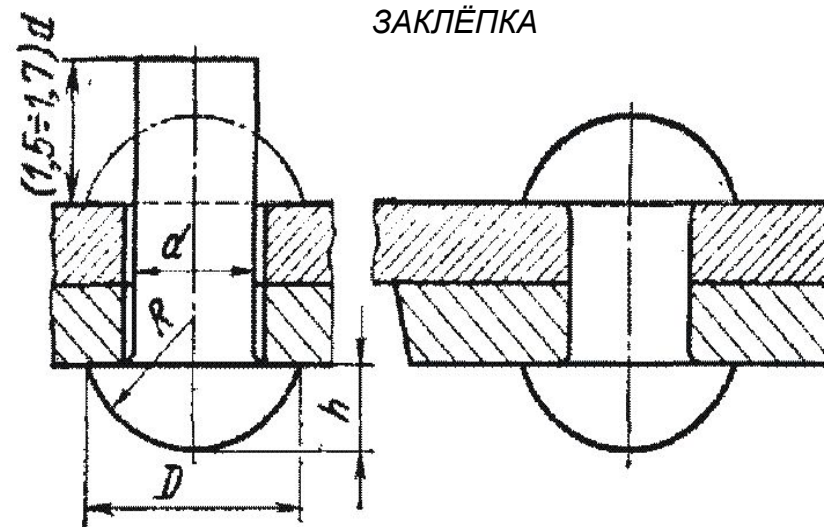
- Резьбовые соединения затягиваю при сборке путём завинчивания гаек (винтов) с помощью гаечных ключей.
- Сила  $F_{кл}$  на рукоятке ключа создаёт момент затяжки:

$$T_{кл} = F_{кл} \cdot L_{кл}$$

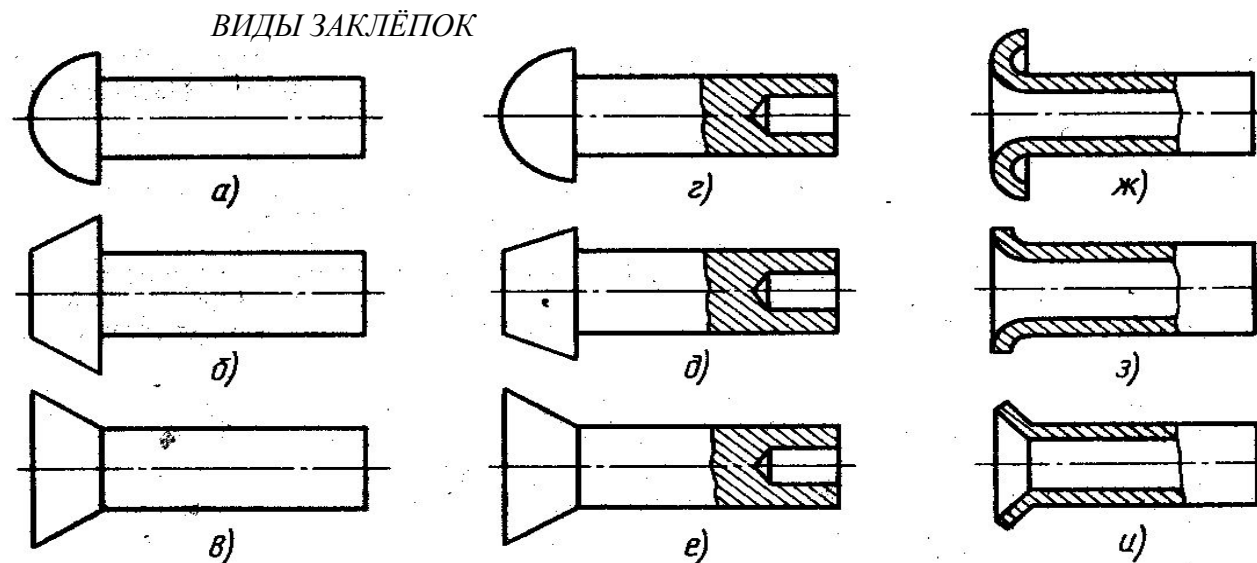


## Заклёпочные соединения

- 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).





## 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:

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

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

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

- Напряжения смятия на боковых поверхностях заклёпки

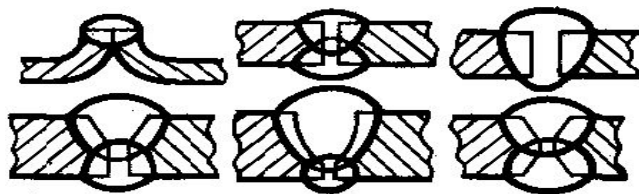
$$\sigma_{\text{см}} = P/Sd \leq [\sigma]_{\text{см}},$$

где  $S$  – толщина наименьшей из соединяемых деталей.

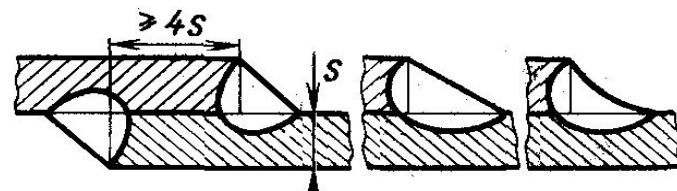
# Сварные соединения

- 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;  $\sigma_p$  — допускаемое напряжение в сварном шве при растяжении;  $\sigma_{сж}$  — допускаемое напряжение в сварном шве при сжатии.

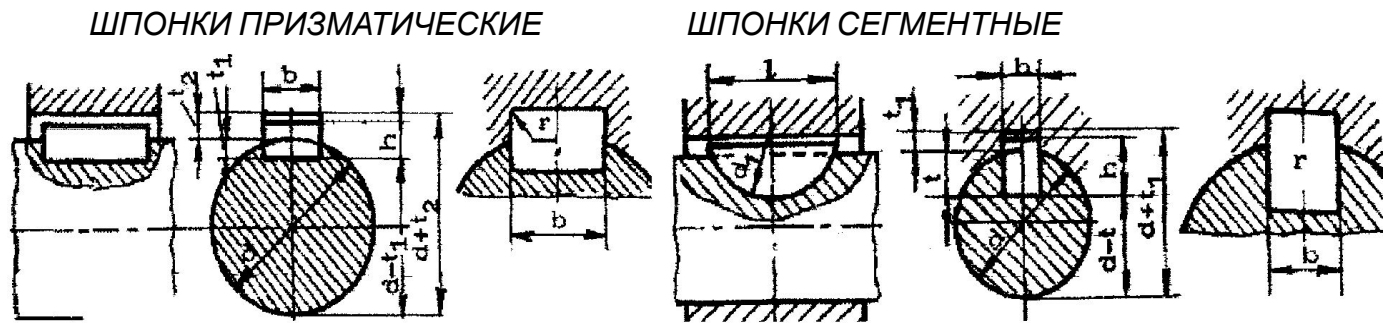
- Для каждого из швов существуют свои эмпирические зависимости, по которым производится расчёт. Например, при расчете на прочность нахлестного соединения применяют расчетную формулу:

$$P = T_{ср} \cdot 0,7K \cdot l,$$

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.



### Расчёт шпоночных соединений на прочность

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

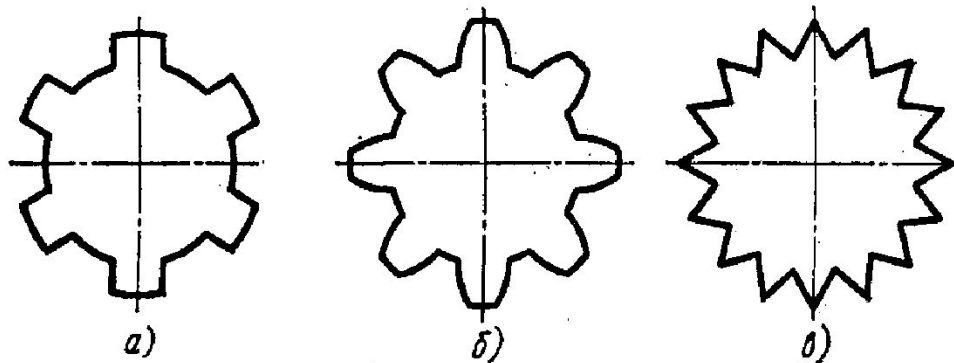
$$\sigma_{\text{смят}} = M_{\text{вращ}} / (0,2hdl) \leq [\sigma]_{\text{смят}} ; \tau_{\text{срез}} = 2M_{\text{вращ}} / (dbl) \leq [\tau]_{\text{срез}}$$

$h$  – 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 прямоугольные шлицы (а), реже встречаются эвольвентные (б) ГОСТ 6033-57 и треугольные (в) профили шлиццов.

*ВИДЫ ШЛИЦОВ*



## Расчёт на прочность шлицевых соединений

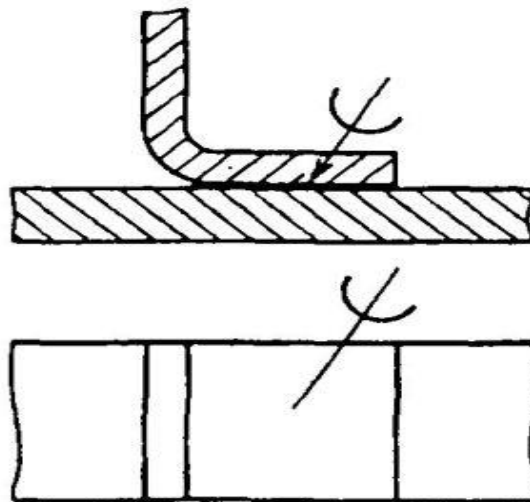
- Смятие и износ связаны с одним параметром – контактным напряжением (давлением)  $\sigma_{см}$ . Это позволяет рассчитывать шлицы по обобщённому критерию одновременно на смятие и контактный износ. Допускаемые напряжения  $[\sigma]_{см}$  назначают на основе опыта эксплуатации подобных конструкций.
-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

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

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

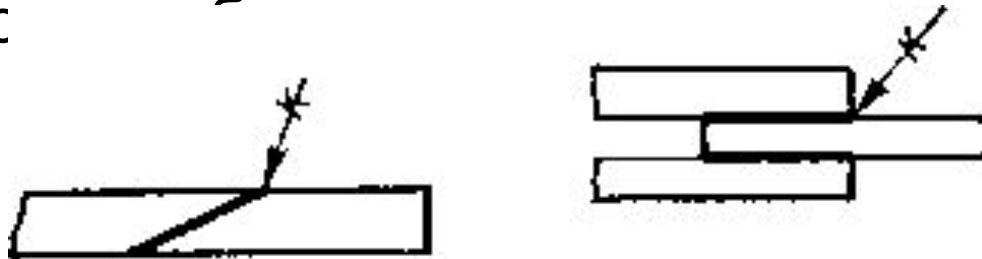
## Расчёт на прочность паяных соединений

- 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  $(0,8 \div 0,9)\sigma_{\text{вп}}$ , где  $\sigma_{\text{вп}}$  - 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,  $[\tau]$  – 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 шпоночных 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.