# Соединения

***Неподвижные связи в технике называют соединениями.***

По признаку разъемности все виды соединений можно разделить на **разъемные и неразъемные.**

***Разъемные соединения*** позволяют разъединять детали без их повреждения. К ним относятся резьбовые, штифтовые, клеммовые, шпоночные, шлицевые и профильные соединения.

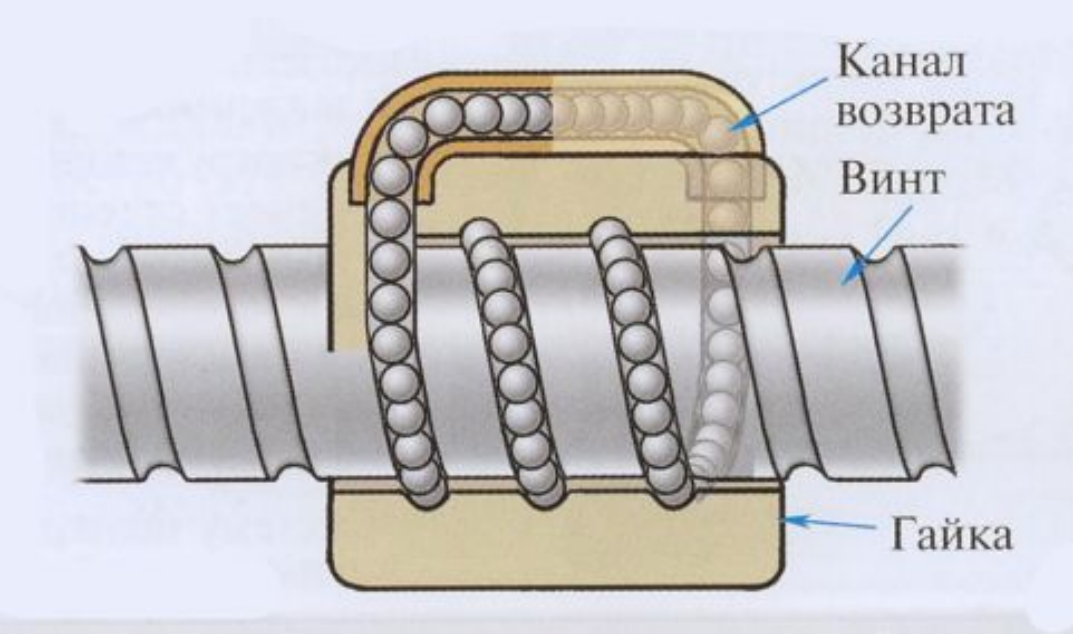
***Неразъемные соединения*** не позволяют разъединять детали без их повреждения. К этой группе соединений относятся заклепочные, сварные и соединения с натягом (прессовые).

# Соединения

**Основным критерием работоспособности и расчета соединений является прочность.**

**При проектировании соединений необходимо стремиться :**

- к равнопрочности соединения с соединяемыми элементами;
- к минимальному искажению формы изделия;
- к минимальному количеству дополнительных элементов в конструкции.




# Резьбовые соединения

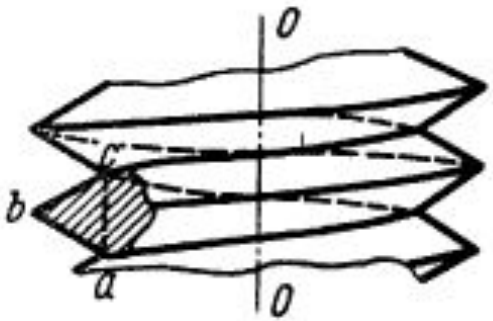
# ПЛАН ЛЕКЦИИ

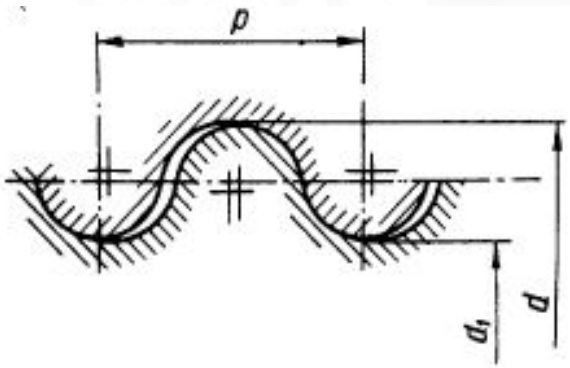
1. Геометрические параметры резьбы.
2. Основные типы резьб.
3. Методы изготовления резьбы.
4. Расчет резьбы на прочность.
5. Теория винтовой пары.
6. Самоторможение и кпд винтовой пары.
7. Виды резьбовых соединений.
8. Расчет на прочность стержня винта.
9. Обозначение резьбовых деталей.
10. Материалы для изготовления резьбовых деталей.
11. Способы стопорения резьбовых деталей.

# Геометрические параметры резьбы

***По форме основной поверхности*** *различают цилиндрические и конические резьбы.* Наиболее распространена цилиндрическая резьба. Коническую резьбу применяют для плотных соединений труб, пробок и т. п.

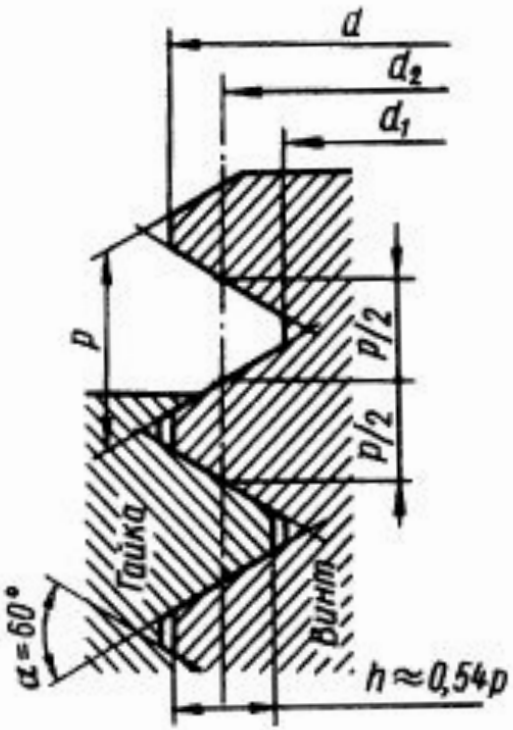
*Профиль резьбы*— контур (*abc)* сечения резьбы в плоскости, проходящей через ось основной поверхности. **По форме профиля** *различают треугольные, прямоугольные, трапецеидальные, круглые и другие резьбы.*




***По направлению винтовой линии*** *различают правую и левую резьбы.*

# Геометрические параметры резьбы




d – наружный диаметр, мм

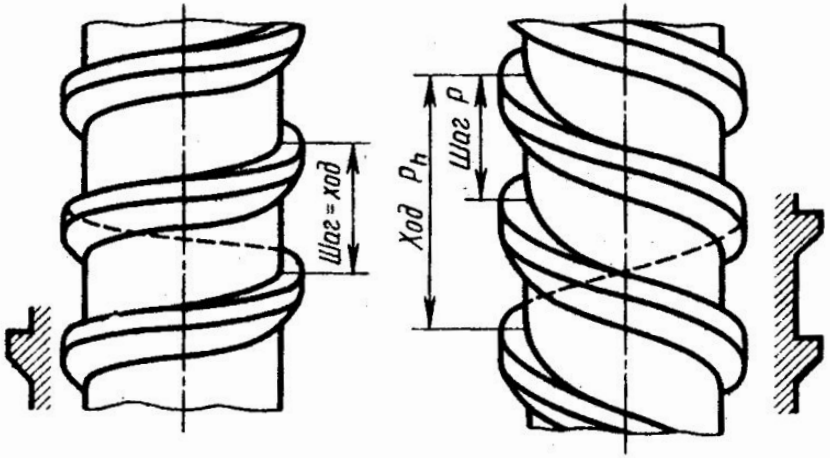
$d_1$ – внутренний диаметр, мм

$d_2$ – средний диаметр, мм

p – шаг, мм

$p_1$ – ход резьбы, мм

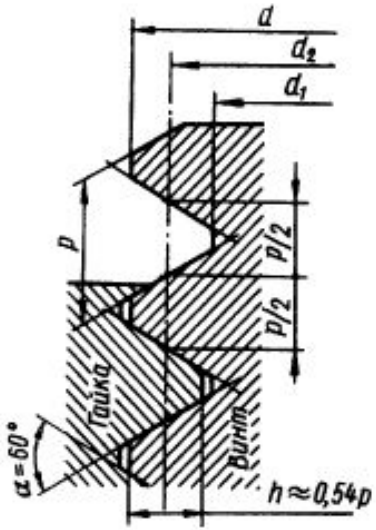
α – угол профиля, °



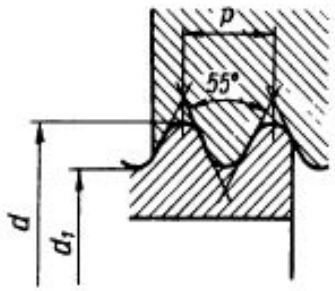
# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕЗЬБ

## Резьбы крепежные

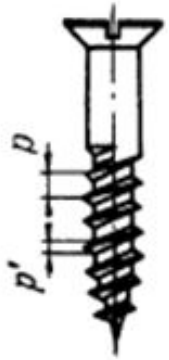
*метрическая* с треугольным профилем



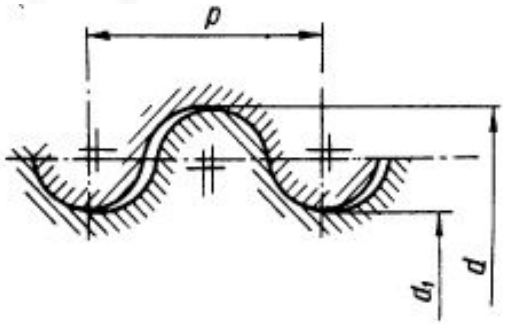

*трубная* (треугольная со скругленными вершинами и впадинами)




*резьба винтов для дерева*



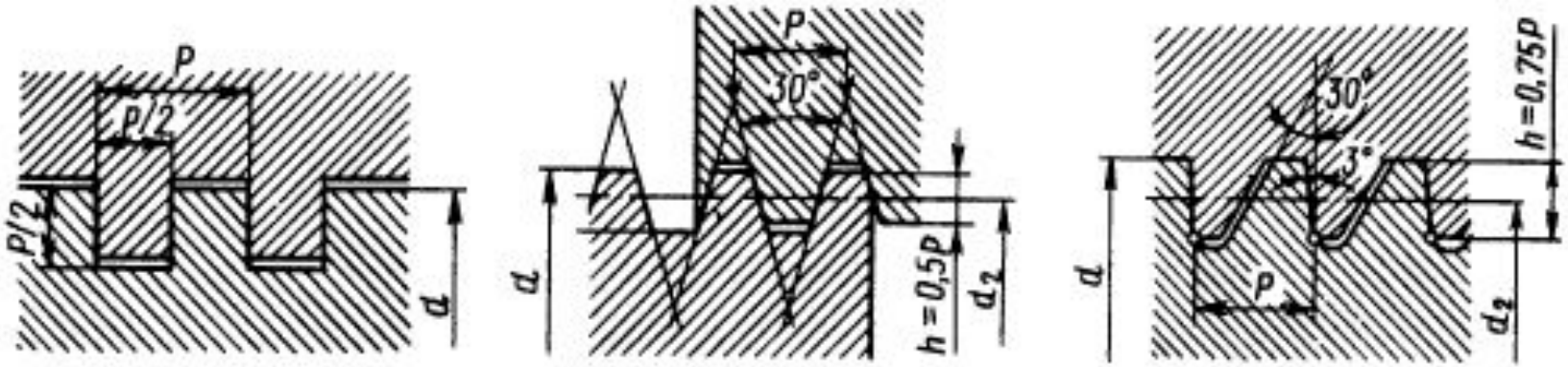

*круглая*



# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ РЕЗЬБ

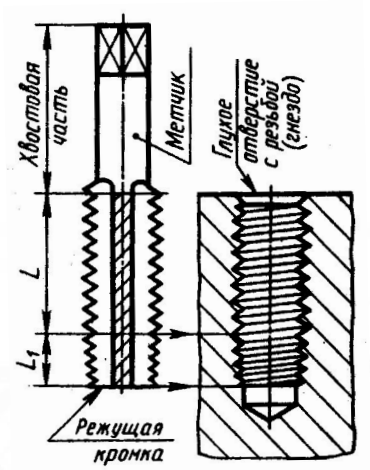
## Резьбы ходовые

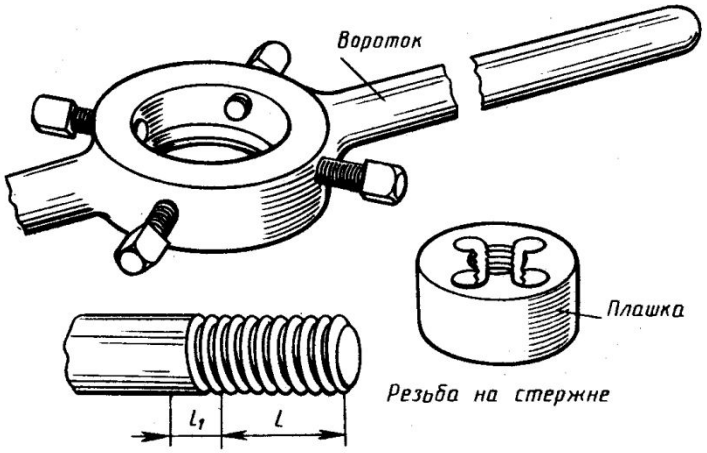
*прямоугольная трапецеидальная симметричная трапецеидальная несимметричная (упорная)*



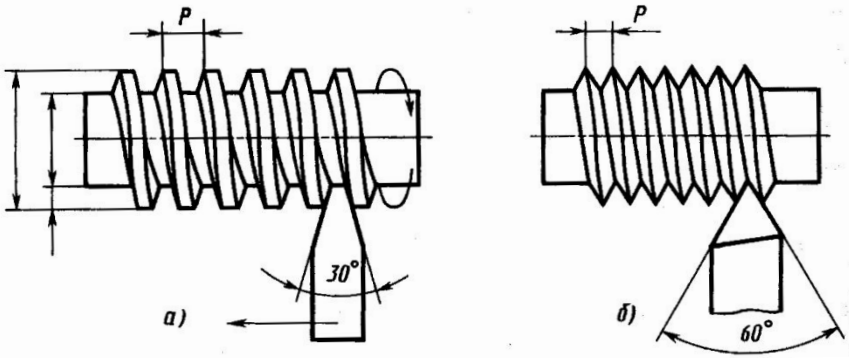
# МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЬБЫ

1. **Нарезкой вручную метчиками (плашками).**



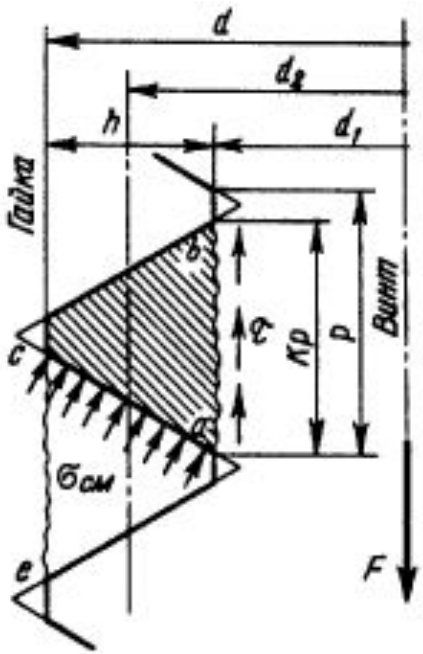

2. **Нарезкой на токарно-винторезных станках.**



# МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЬБЫ

3. **Методом фрезерования на резьбофрезерных станках.** Применяют для нарезки винтов больших диаметров с повышенными требованиями к точности резьбы (ходовые и грузовые винты, резьбы на валах и т. д.).
4. **Методом накатки на резьбонакатных станках-автоматах.** Высокопроизводительный и дешевый метод. Изготовляют большинство резьб стандартных крепежных деталей (байты, винты и т. д.).
5. **Методом отливки.** Изготавливаются резьбы на литых деталях из чугуна, стекла, пластмассы, металлокерамики и др.
6. **Методом выдавливания.** Изготавливается резьба на тонкостенных давленых и штампованных изделиях из жести, пластмассы и т. д.

# РАСЧЕТ РЕЗЬБЫ НА ПРОЧНОСТЬ




***Основные виды разрушения резьб:***

крепежных — срез витков, ходовых — износ витков.

**Основным критерием работоспособности и расчета**

для крепежных резьб является прочность, связанная с напряжениями среза **τ**

$$\tau = F/(\pi d_1 H K K_m) \leqslant [\tau] \text{ для винта,}$$

$$\tau = F/(\pi d H K K_m) \leqslant [\tau] \text{ для гайки,}$$

где $H$ — высота гайки или глубина завинчивания винта в деталь; $K = ab/p$ или $K = ce/p$ — коэффициент полноты резьбы; $K_m$ — коэффициент неравномерности нагрузки по виткам резьбы.

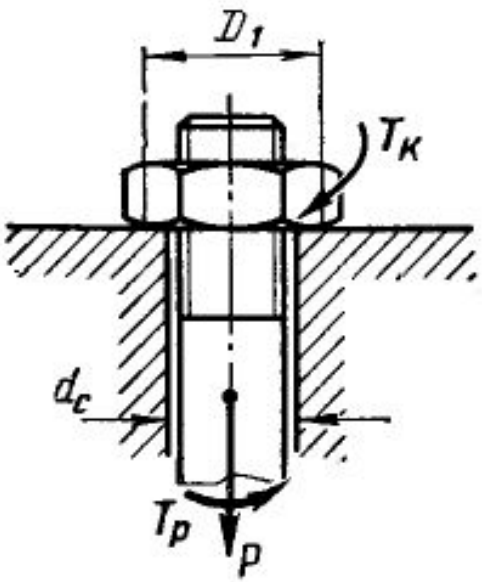
*для ходовых резьб — износостойкость, связанная с напряжениями смятия* $\sigma_{см}$

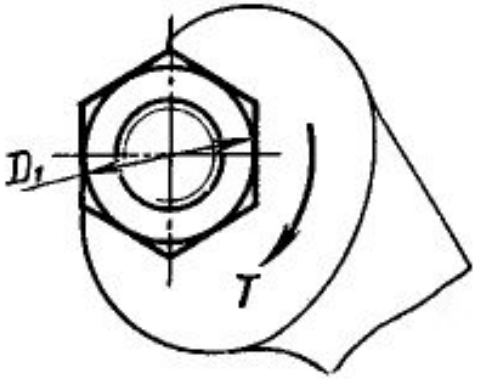
$$\sigma_{см} = F/(\pi d_2 h z) \leqslant [\sigma_{см}],$$

где $z = H/p$ — число рабочих витков

# Резьбовые соединения

## *Теория винтовой пары*




$$A_к = A_t + A_f + A_p$$

где $A_к$ — работа момента, приложенного к ключу;

$A_t$ — работа сил трения на опорном торце гайки;

$A_f$ — работа сил трения в резьбе;

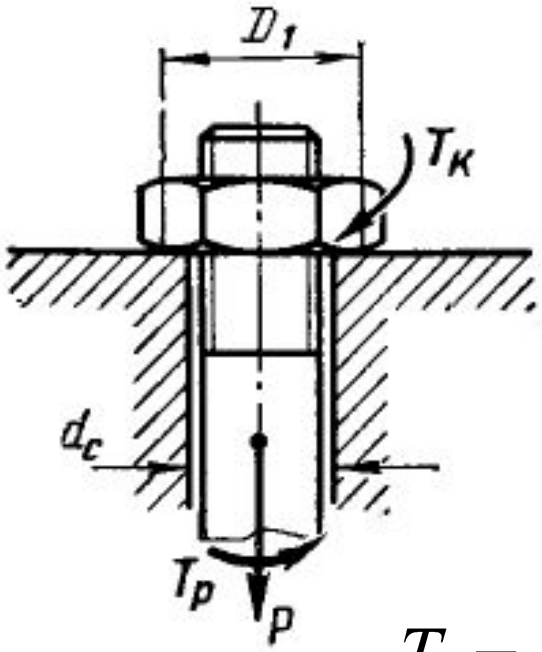
$A_p$ — работа силы *P* на осевом перемещении.

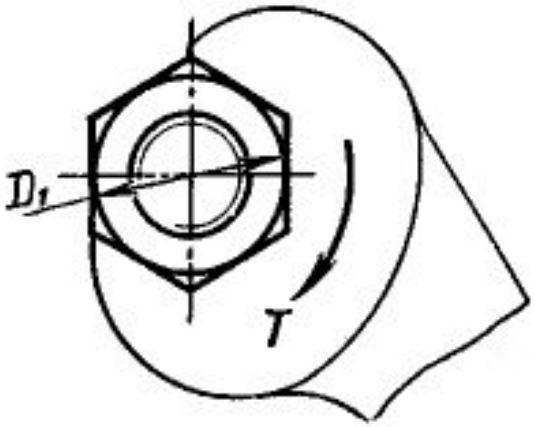
Рассматривая один оборот гайки

$$A_к = T_к 2\pi$$

$$A_t = T_t 2\pi$$

# ТЕОРИЯ ВИНТОВОЙ ПАРЫ




$$T_t = Pf\left(\frac{D_{cp}}{2}\right)$$

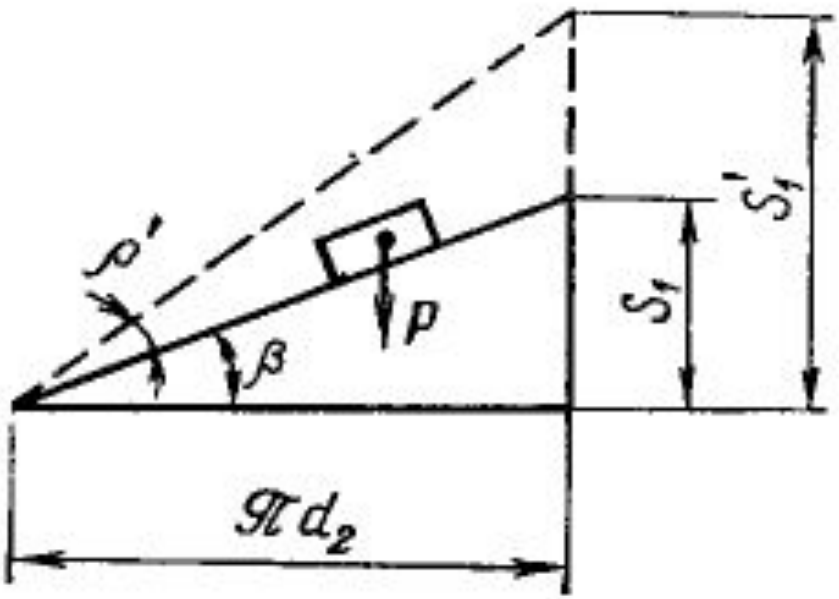
где $D_{cp} = (D_1 + d_{отв})/2$;

$D_1$ - наружный диаметр опорного торца гайки;

$d_{отв}$ - диаметр отверстия под винт;

$f$ - коэффициент трения

# ТЕОРИЯ ВИНТОВОЙ ПАРЫ

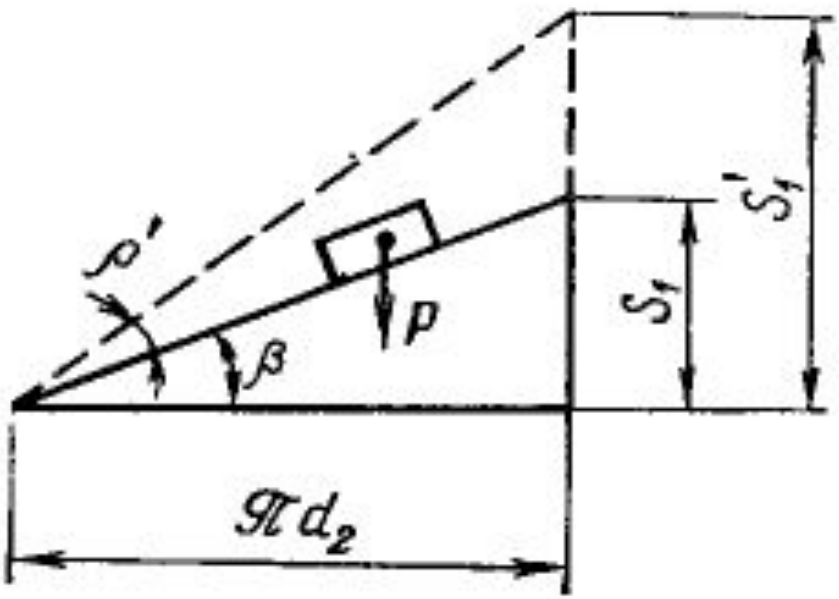



$$A_f + A_p = PS' = P\pi d_2 tg(\beta + \rho')$$

$$\rho' = arctg\, f'$$

$$T_к = P\left[\frac{D_{ср}}{2} f + \frac{d_2}{2} tg(\beta + \rho')\right]$$

# САМОТОРМОЖЕНИЕ И КПД ВИНТОВОЙ ПАРЫ




**Условие самоторможения**

$$\beta \leq \rho'$$

Для крепежных резьб

$\beta=1{,}5^\circ\ldots4^\circ$

$\rho'=6^\circ\ldots16^\circ$ ($f'=0{,}1\ldots0{,}3$)

КПД винтовой пары

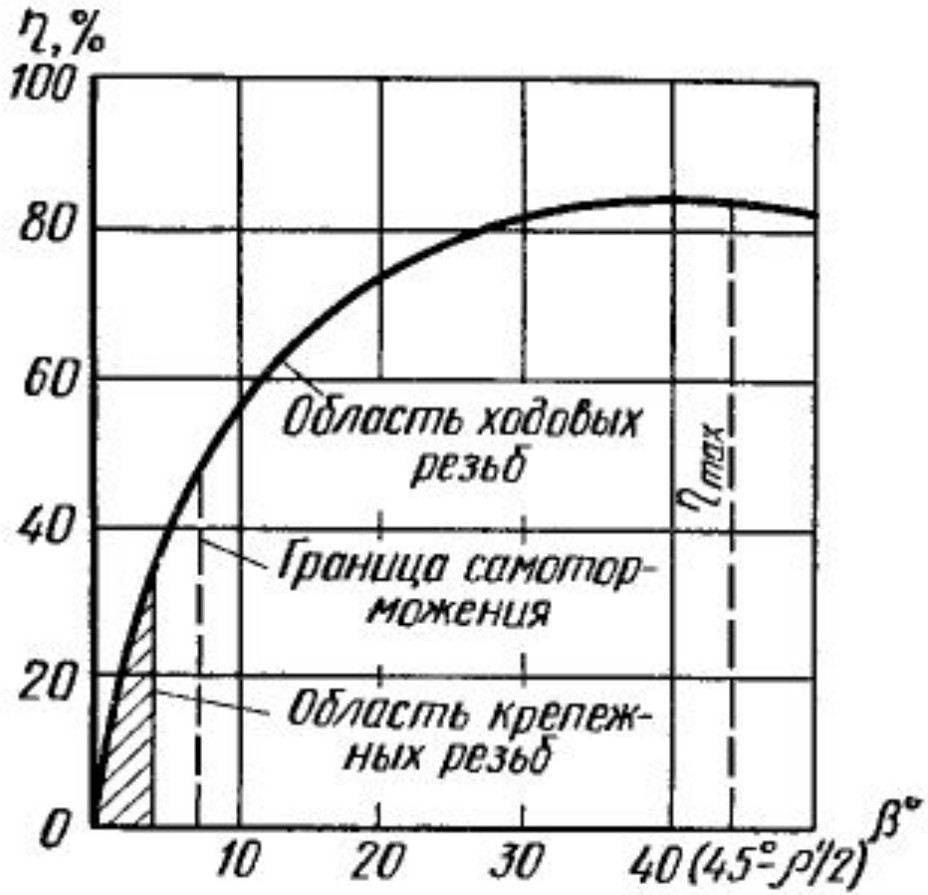
$$\eta=\frac{T_к'}{T_к}=\frac{tg\ \beta}{\frac{D_{ср}}{2}f+tg\ (\beta+\rho')}$$

Учитывая потери только в резьбе

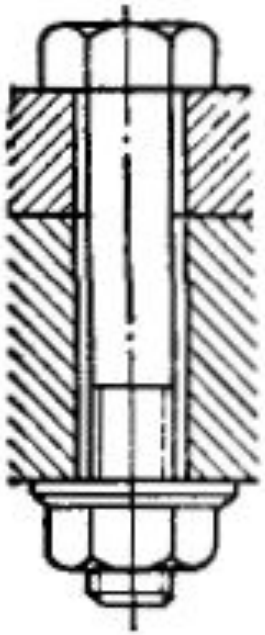
$$\eta=\frac{tg\ \beta}{tg\ (\beta+\rho')}$$

# САМОТОРМОЖЕНИЕ И КПД ВИНТОВОЙ ПАРЫ

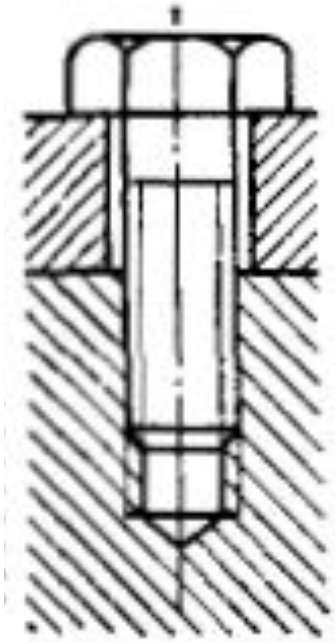
**Зависимость η от β при ρ′= 6°**



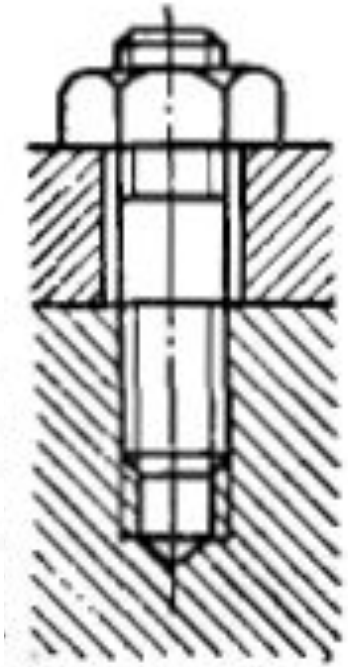
# Виды резьбовых соединений



Болтовое



Винтовое



Шпилечное

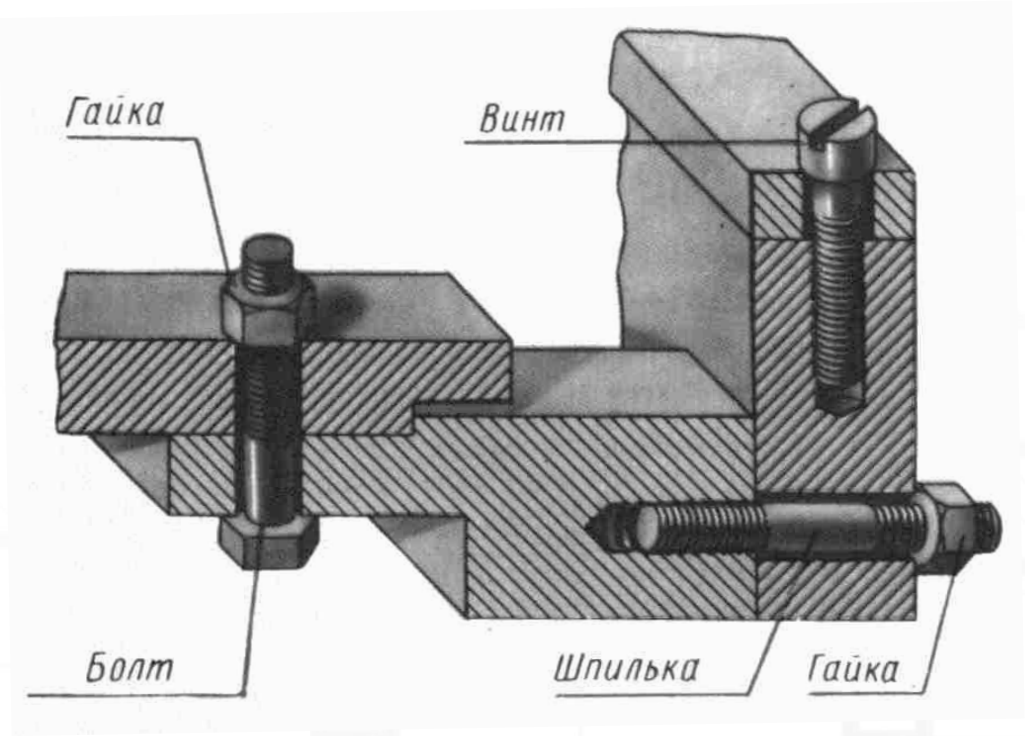
**Достоинства:**

- конструктивная простота и низкая стоимость;
- создание высоких сил затяжки.

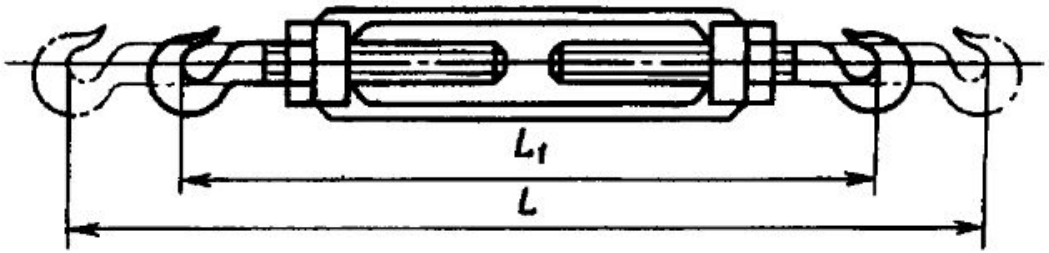
**Недостатки:**

- возможность самоотвинчивания;
- концентрация напряжений из-за наличия резьбы;
- быстрый износ резьбы при частой разборке соединения.

# Виды резьбовых соединений

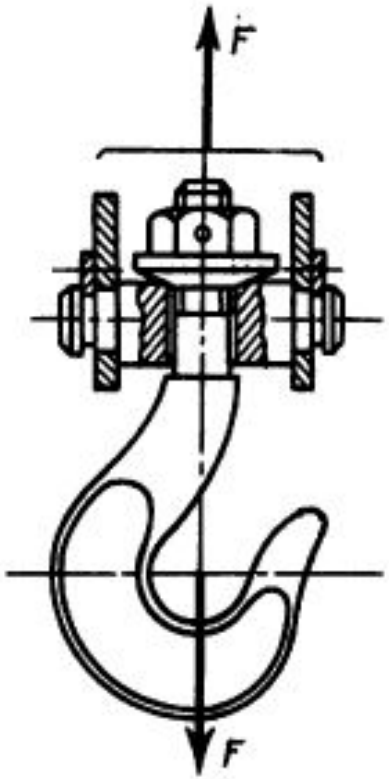



Талреп



# РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЯ ВИНТА

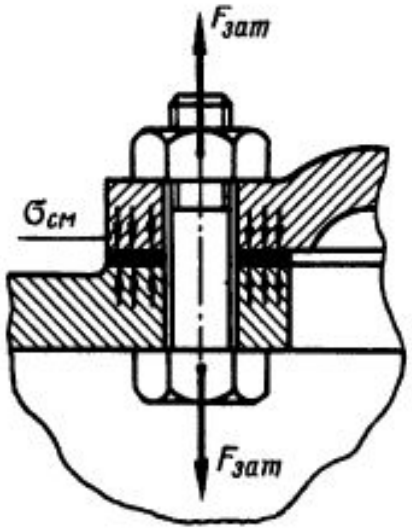
1. Стержень винта нагружен только внешней растягивающей силой




$$\sigma = F/\left[(\pi/4)\, d_1^2\right] \leqslant [\sigma]$$

# РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЯ ВИНТА

2. Болт затянут, внешняя нагрузка отсутствует




Напряжение растяжения от силы $F_{зат}$

$$\sigma = F_{зат} / [(\pi/4)\, d_1^2].$$

Напряжения кручения от момента $T_р$

$$\tau = T_р / W_р = 0{,}5 F_{зат} d_2 \operatorname{tg}(\psi + \varphi) / (0{,}2 d_1^3)$$

Требуемое значение силы затяжки

$$F_{зат} = A \sigma_{см},$$

где $A$ — площадь стыка деталей, приходящаяся на один болт, $\sigma_{см}$ — напряжение смятия в стыке деталей

Прочность болта определяют по эквивалентному напряжению

$$\sigma_{эк} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leqslant [\sigma]$$

Вычисления показывают, что для стандартных метрических резьб

$$\sigma_{эк} \approx 1{,}3\sigma$$

Это позволяет рассчитывать прочность болтов по упрощенной формуле

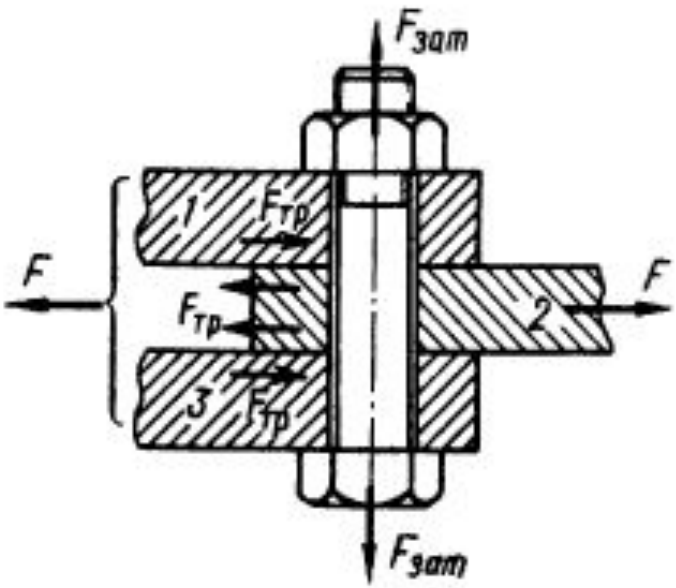
$$\sigma_{эк} = 1{,}3 F_{зат} / [(\pi/4)\, d_1^2] \leqslant [\sigma]$$

# РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЯ ВИНТА

3. Болтовое соединение нагружено силами, сдвигающими детали в стыке.

*Условием надежности соединения является отсутствие сдвига деталей в стыке.*

*3.1. Болт поставлен с зазором*




$$F \leqslant iF_{тр} = iF_{зат} f$$

$$F_{зат} = KF/(if)$$

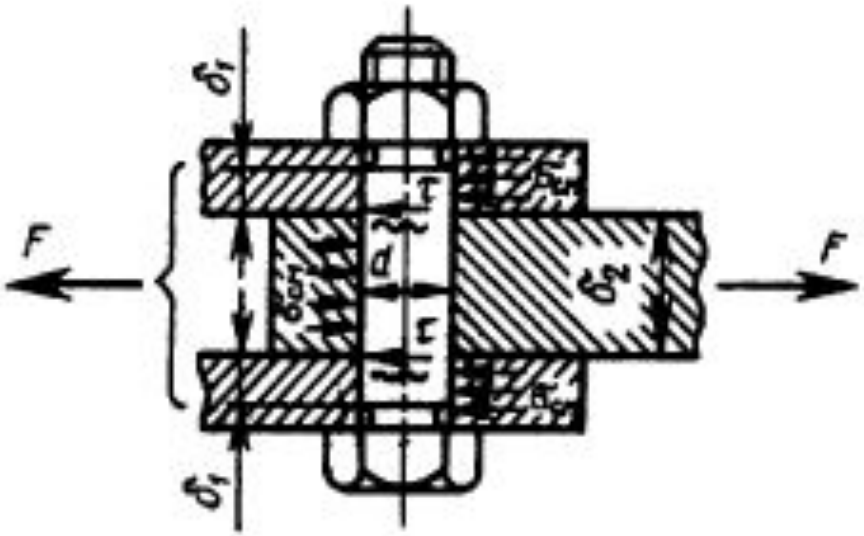
где $i$ — число плоскостей стыка деталей (на рис. $i = 2$);

$f$—коэффициент трения в стыке ($f = 0{,}15...0{,}20$ для сухих чугунных и стальных поверхностей);

$K$—коэффициент запаса (К=1,3...1,5 при статической нагрузке, К=1,8...2 при переменной нагрузке).

# РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕРЖНЯ ВИНТА

*3.2. Болт поставлен без зазора*




$$\tau = F/\left[(\pi/4)\, d^2 i\right] \leqslant [\tau]$$

$$\sigma_{см} = F/(d\delta_2) \leqslant [\sigma_{см}]$$

$$\sigma_{см} = F/(2d\delta_1) \leqslant [\sigma_{см}]$$

# ОБОЗНАЧЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Винт* A2M12 x 1.25-6e x 60.58.C.019 ГОСТ 17473-80

*Гайка* 2M12 x 1.25-LH-6H.05.40X.016 ГОСТ 5916-70

Обозначение класса прочности болтов, винтов и шпилек состоит из двух цифр:

- первая соответствует 1/100 номинального значения временного сопротивления разрыву, МПа;
- вторая соответствует 1/10 отношения номинального значения предела текучести к временному сопротивлению, %.

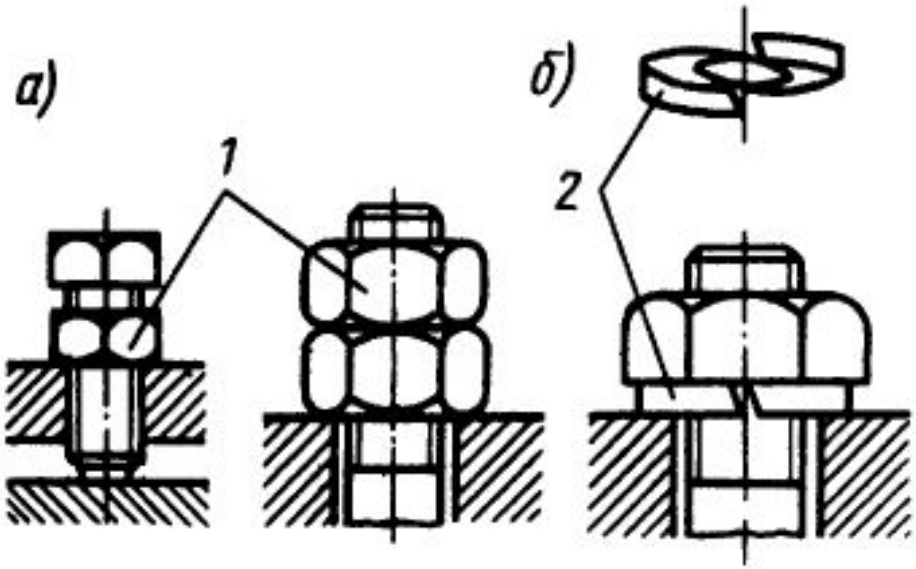
Произведение двух указанных цифр соответствует 1/10 номинального значения предела текучести, МПа.

# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

| Материал | Предел прочности $\sigma_в$, МПа | Предел текучести $\sigma_т$, МПа | Предел выносливости $\sigma_{-1р}$, МПа | Материал | Предел прочности $\sigma_в$, МПа | Предел текучести $\sigma_т$, МПа | Предел выносливости $\sigma_{-1р}$, МПа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ст3 и 10 | 340 | 200 | 160 | 35Х | 800 | 640 | 280 |
| 20 | 400 | 240 | 170 | 30ХГСА | 1000 | 900 | 300 |
| 35 | 500 | 300 | 180 | ВТ16 | 1200 | 1100 | 350 |
| 45 | 600 | 360 | 240 | | | | |

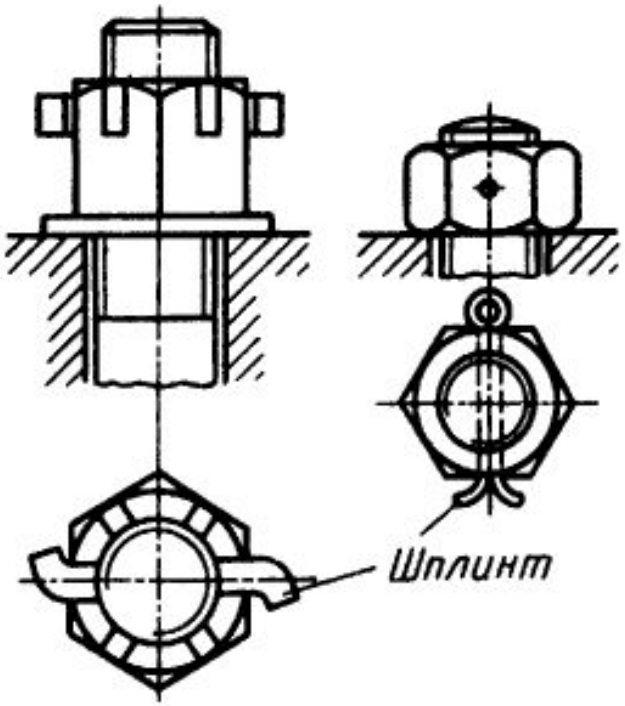
# СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

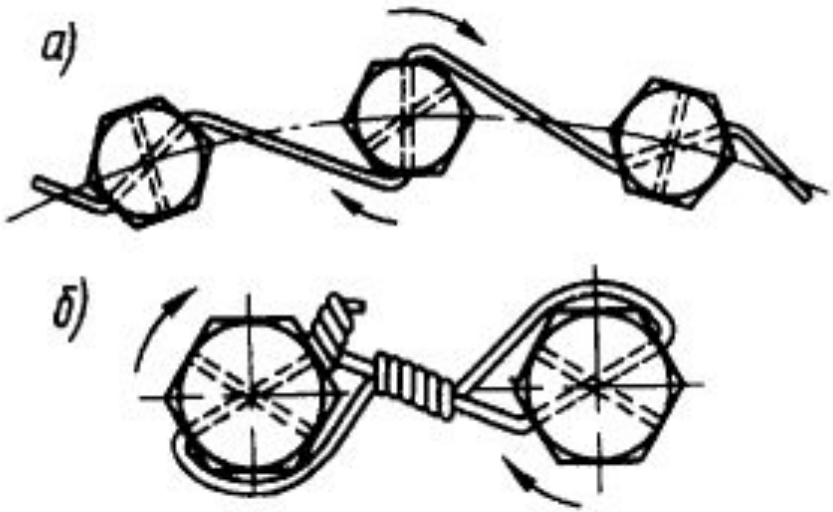
1. Повышение и стабилизация трения в резьбе



# СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

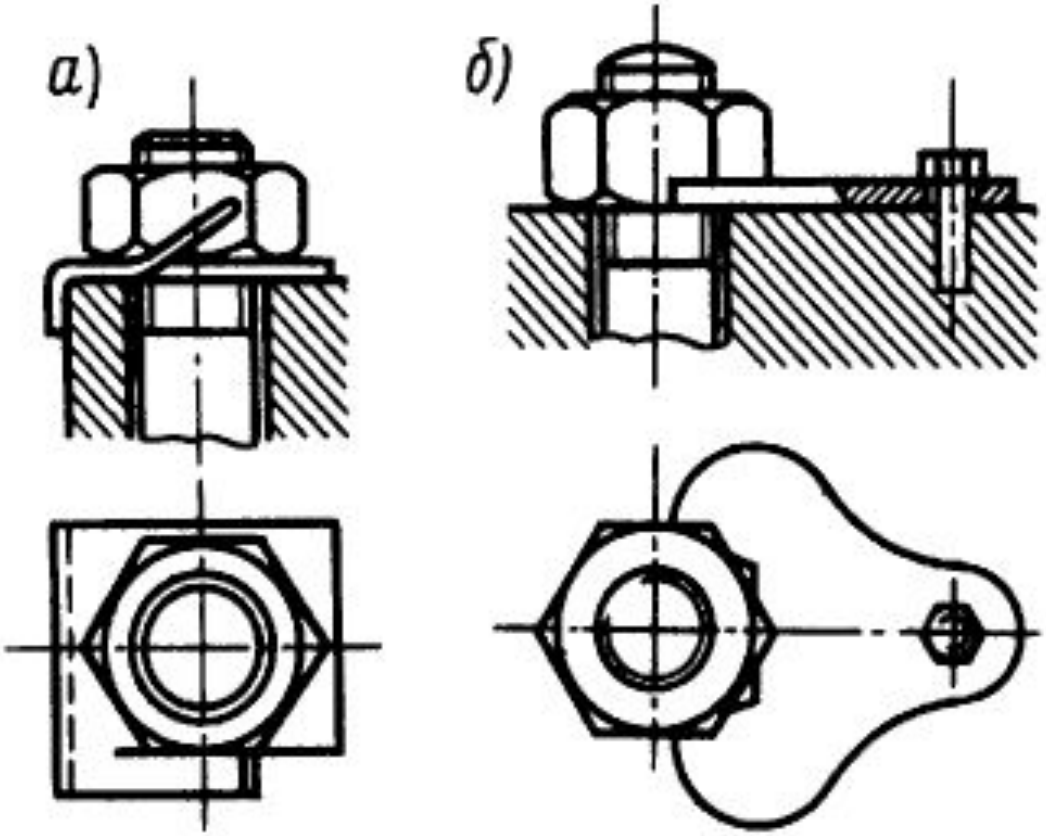
2. Жесткое соединение гайки и стержня винта или головок винтов друг с другом



# СПОСОБЫ СТОПОРЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

3. Жесткое соединение гайки с деталью



# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация, типы и основные требования к соединениям.
2. Основные типы резьб и области их применения.
3. Основные виды крепежных деталей и способов стопорения.
4. Как зависит момент, приложенный к гайке, от осевой силы винта?
5. Всегда ли нужно самоторможение винтовой пары?
6. Как повысить КПД винтовой пары?
7. Как повысить равномерность распределения нагрузки по виткам резьбы гайки?
8. По каким напряжениям рассчитывают резьбу?
9. По какому условию определяют высоту стандартной гайки?
10. Типовые случаи нагружения болта. В каких конструкциях такие случаи встречаются?
11. Как рассчитывают болты, поставленные с зазором и без зазора в соединениях при сдвигающей нагрузке?
12. Как определяют расчетную нагрузку на болт, если внешняя нагрузка раскрывает стык деталей?