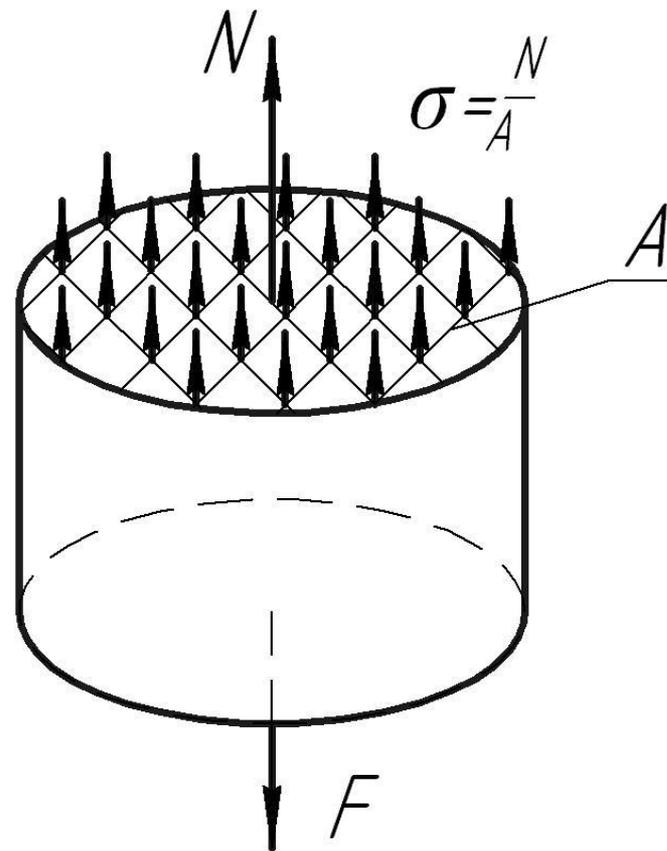
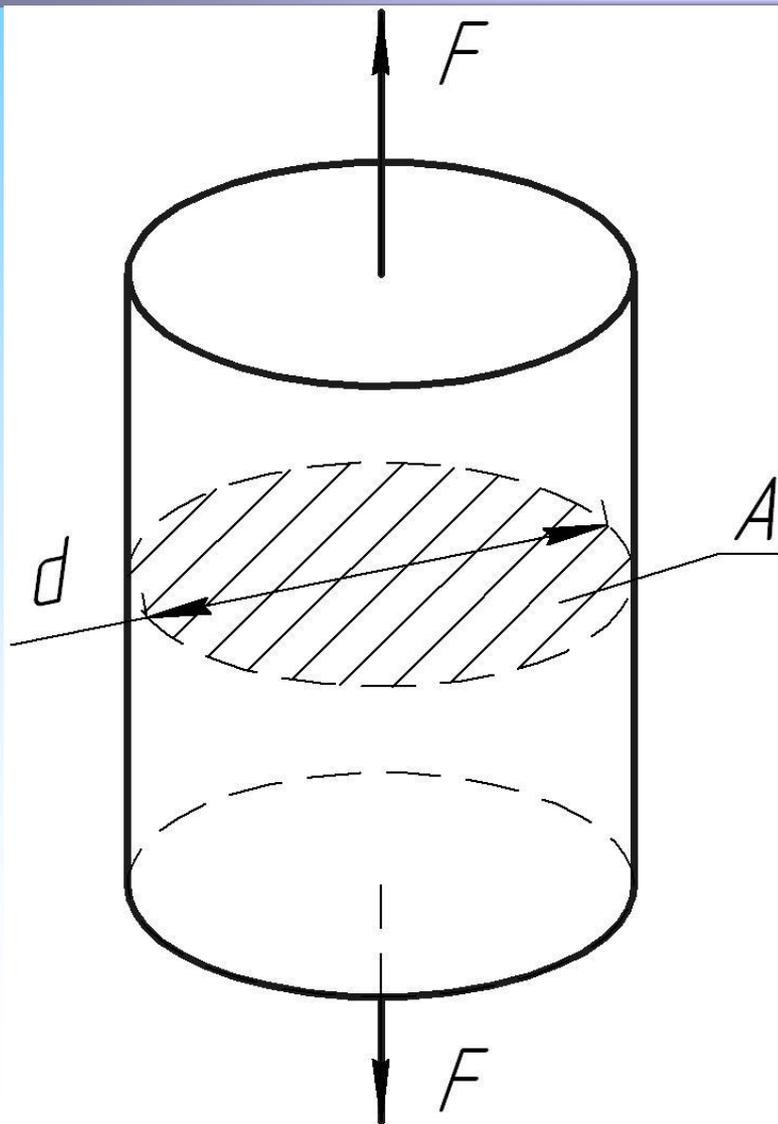

Тема 2

Соединения деталей машин

Расчеты на прочность при растяжении сжатии



Расчеты на прочность при растяжении и сжатии

Тела, работающие на растяжение-сжатие называются *стержнями*.

Условие прочности при растяжении и сжатии стержней:

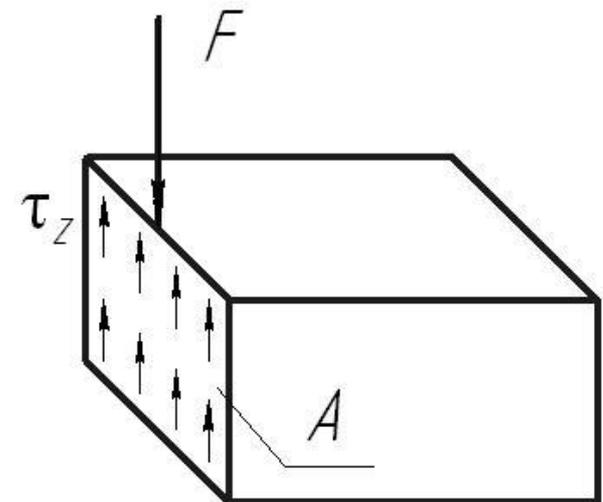
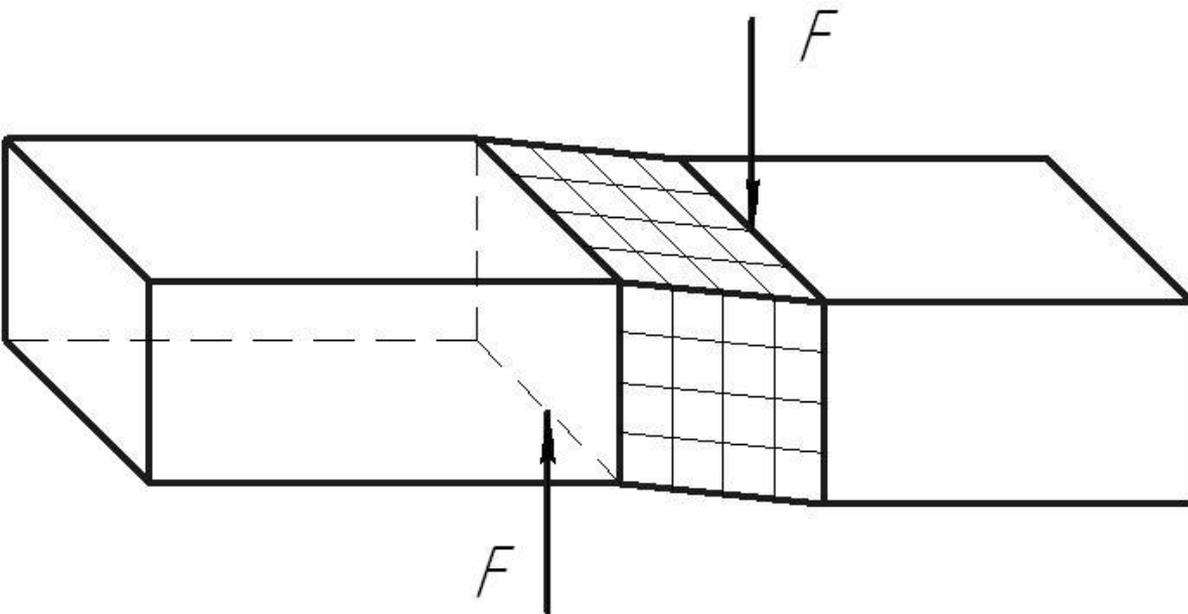
$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} \leq [\sigma_P]$$

$[\sigma_P]$ - допускаемое напряжение при растяжении.

Диаметр круглого стержня при проекровочном расчете равен:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \leq [\sigma_P] \quad \Rightarrow \quad d = \sqrt{\frac{4F}{\pi [\sigma_P]}}$$

Расчеты на прочность при срезе (сдвиге)

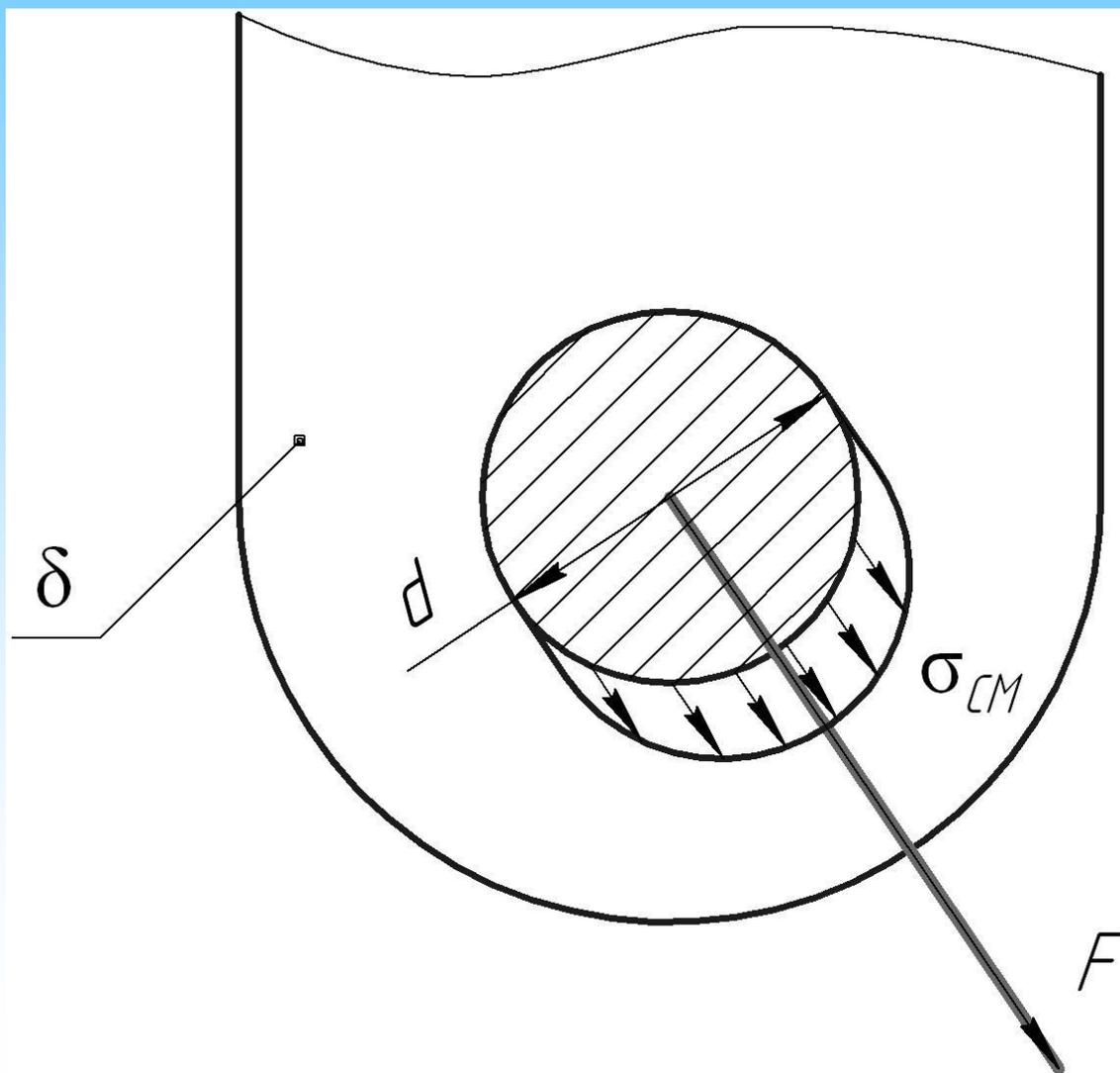


Условие прочности при срезе: $\tau_{\max} = \frac{F}{A} \leq [\tau_C]$

$[\tau_C] = (0,5..0,6)[\sigma_P]$ - для пластичных материалов,

$[\tau_C] = (0,7..1)[\sigma_P]$ - для хрупких материалов.

Расчеты на прочность при смятии



$$\sigma_{CM} = \frac{F}{A_{CM}} = \frac{F}{d \cdot \delta}$$

Расчеты на прочность при смятии

Условие прочности:
$$\sigma_{CM} = \frac{F}{A_{CM}} \leq [\sigma_{CM}]$$

$[\sigma_{CM}]$ - допускаемое напряжение на смятие,

A_{CM} - площадь смятия

Соединения:

- Разъемные и неразъемные
- Подвижные и неподвижные

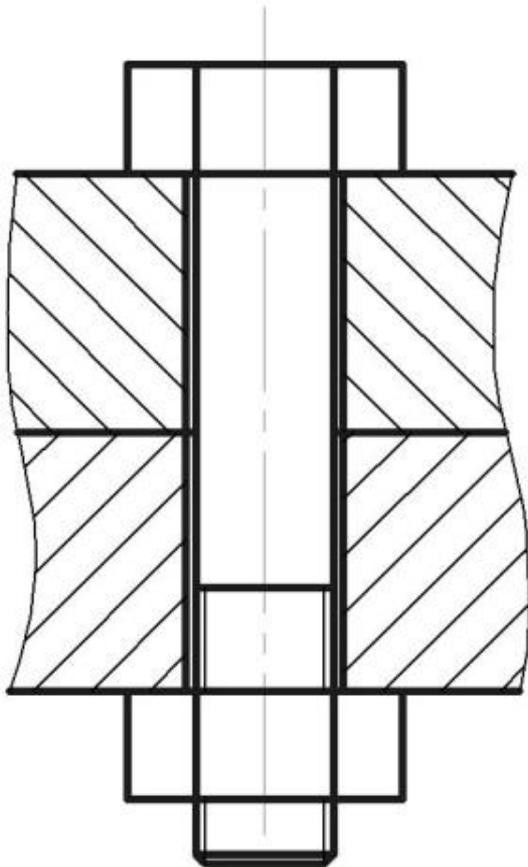
Неразъемные - соединения, разборка которых выполняется с разрушением или деформированием элементов соединяемых деталей (заклепочные, сварные, клеевые).

Разъемные: резьбовые, шпоночные, штифтовые, шлицевые и т.д.

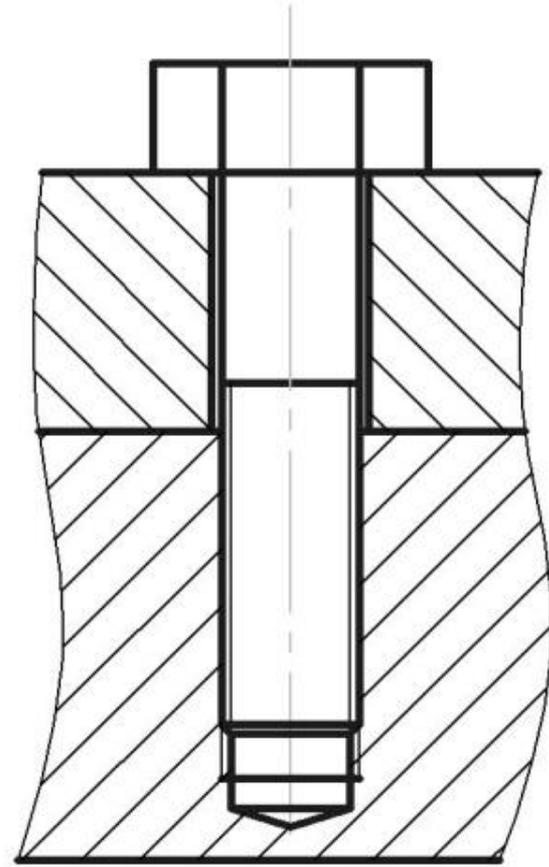
Соединения деталей машин

Виды соединений

*Болтовое
соединение*

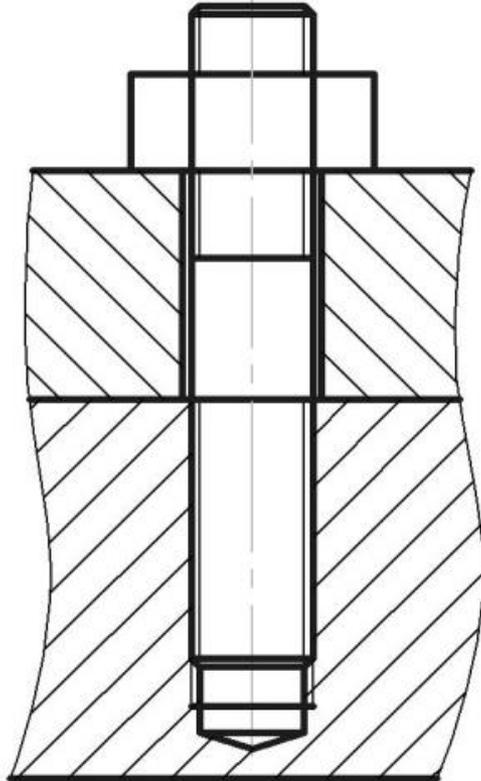


*Винтовое
соединение*

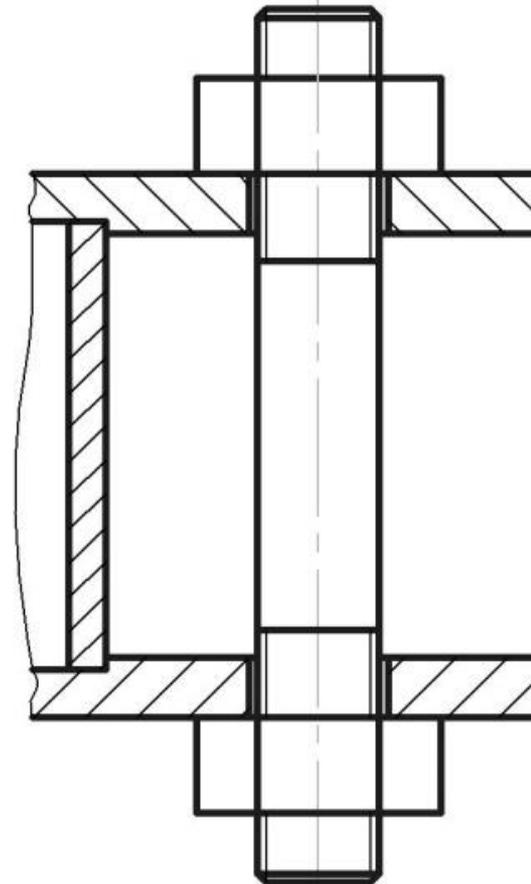


Виды соединений

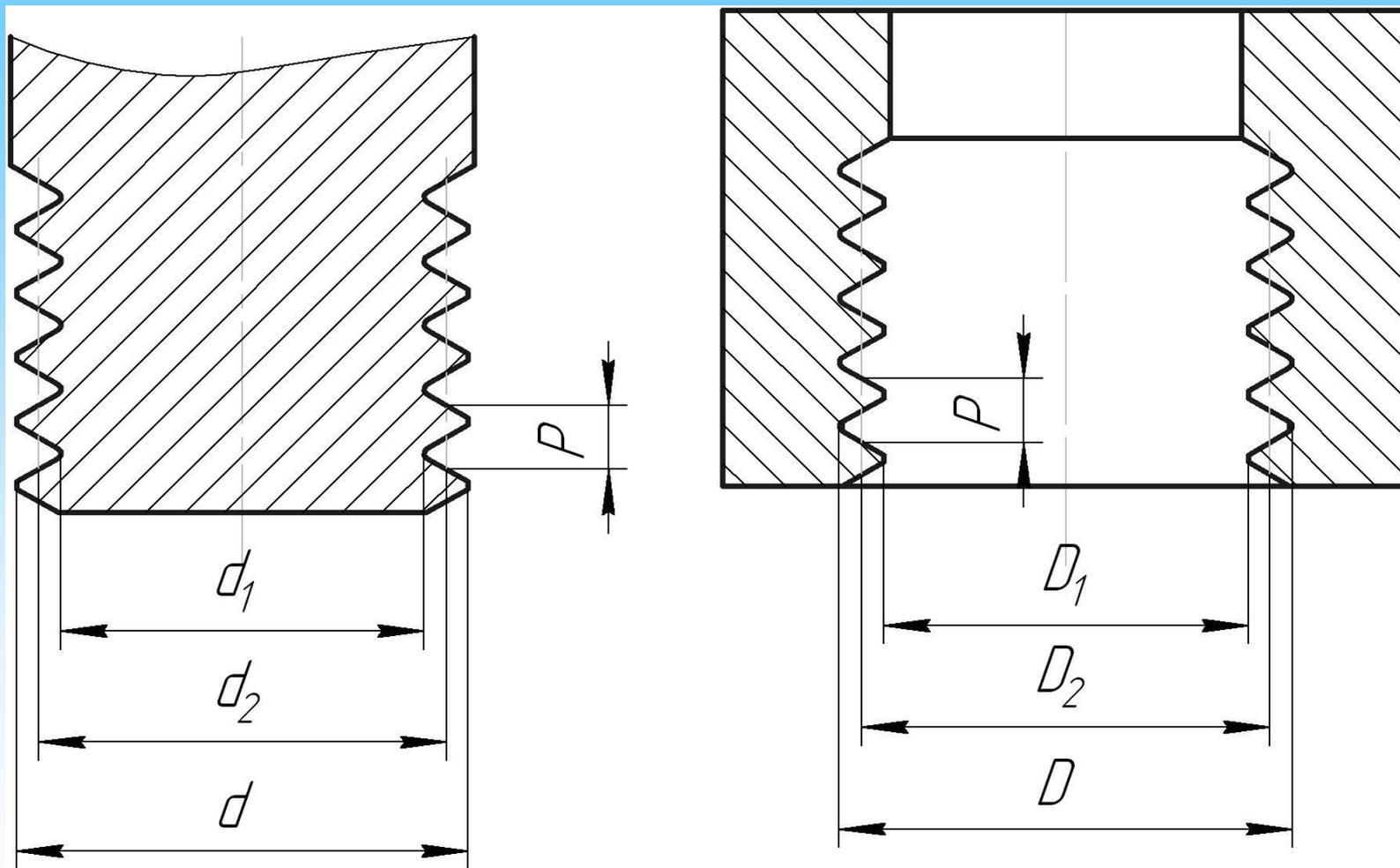
*Соединение
шпилькой*



*Соединение
стяжками*



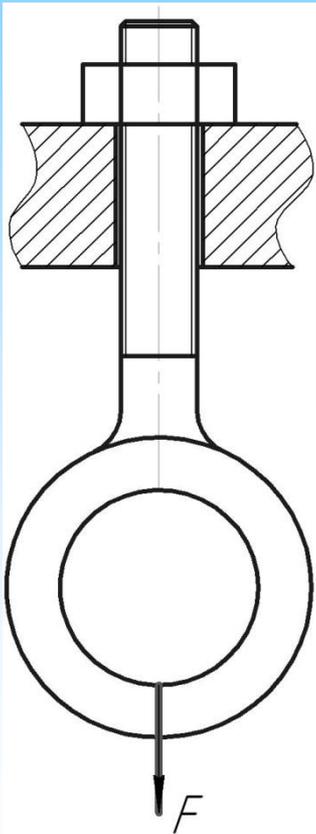
Основные геометрические параметры резьбы



d - наружный диаметр, d_1 - внутренний диаметр,
 d_2 - средний диаметр, P – шаг резьбы.

Расчет крепежных резьбовых соединений

Расчет незатянутых болтов



Условие прочности при растяжении:

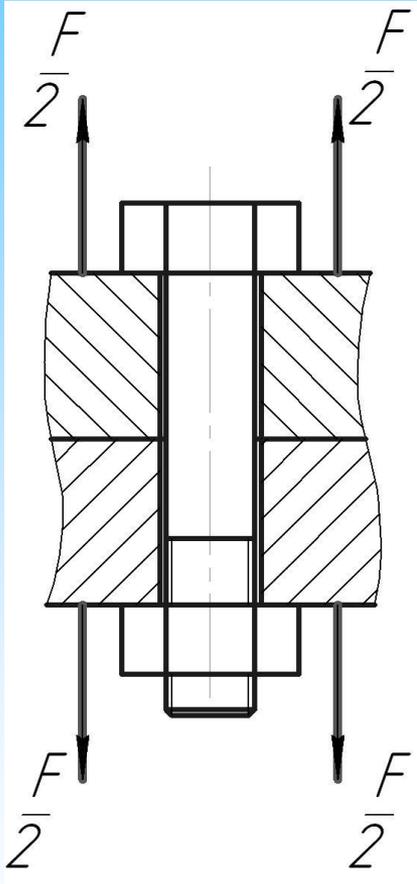
$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} \leq [\sigma_P]$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы равен:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_P] \quad \Rightarrow \quad d_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi [\sigma_P]}}$$

По найденному значению расчетного диаметра подбирается стандартная крепежная резьба.

Расчет затянутых болтов



Условие прочности при сложном сопротивлении

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_P^2 + 3\tau_K^2} \leq [\sigma_P]$$

$$\sigma_{\text{экв}} = 1,3 \sigma_P \quad \Rightarrow \quad F_{\text{расч}} = 1,3 F$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы равен

$$\sigma = \frac{F_{\text{расч}}}{A} = \frac{4 \cdot 1,3 F}{\pi d_1^2} \leq [\sigma_P] \quad \Rightarrow \quad d_1 = \sqrt{\frac{5,2 F}{\pi [\sigma_P]}}$$

Пример 1

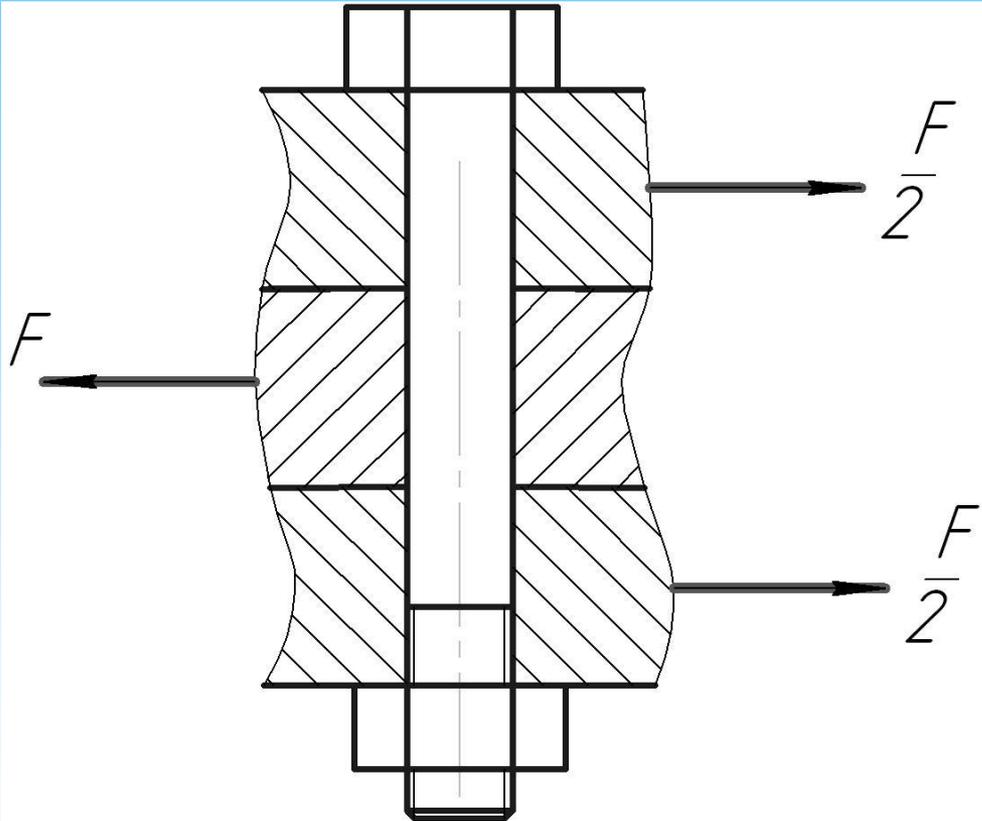
Путем расчета стержня болта на растяжение определить диаметр метрической резьбы с крупным шагом затянутого болтового соединения, если известна осевая сила $Q = 15$ кН и допускаемое напряжение $[\sigma_p] = 100$ МПа.

Пример 2

Путем расчета стержня болта на растяжение проверить допустима ли осевая нагрузка $Q = 18,8$ кН на болт с метрической резьбой М20 с крупным шагом затянутого болтового соединения, если известно $[\sigma_p] = 100$ МПа.

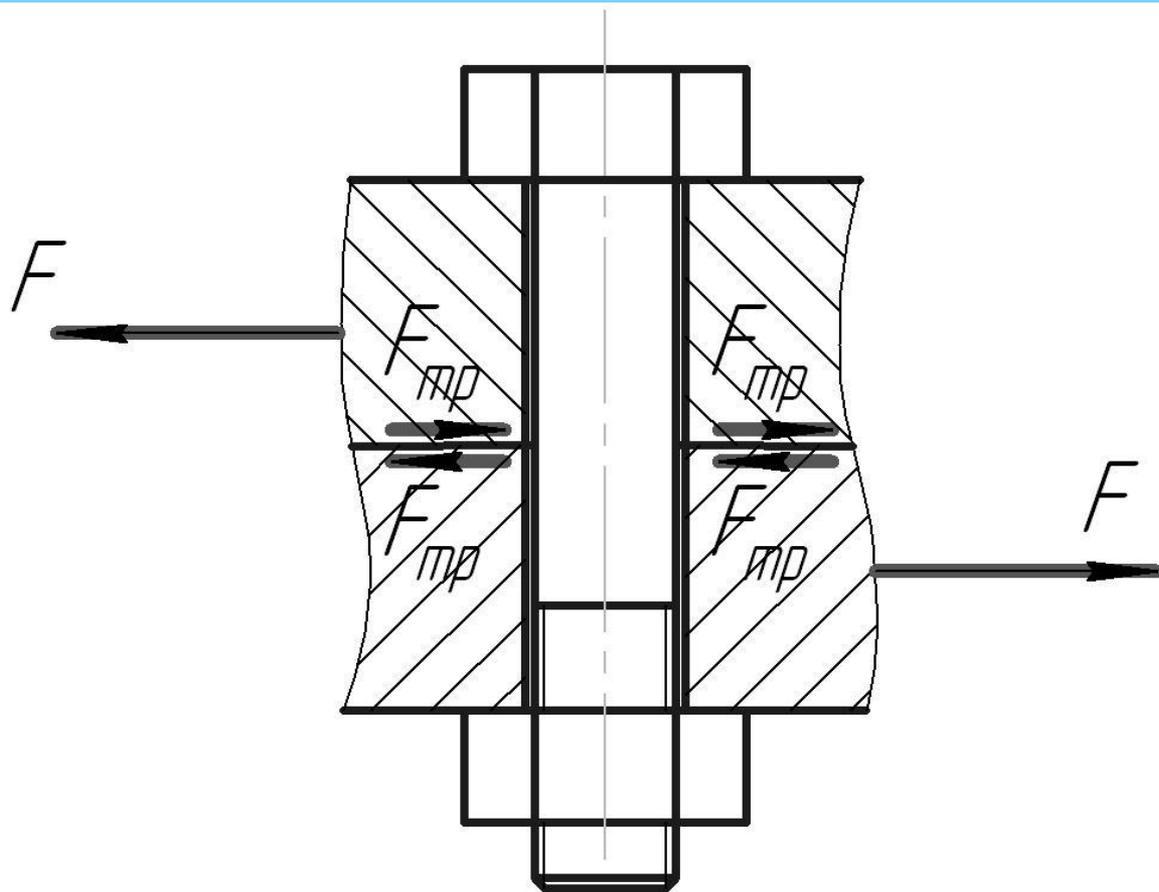
Расчет болтов, нагруженных сдвигающим усилием

1. Болт поставлен без зазора



$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{4F}{i \pi d_1^2} \leq [\tau_{cp}] \quad \Rightarrow \quad d_1 = \sqrt{\frac{4F}{i \pi [\tau_{cp}]}}$$

2. Болт поставлен с зазором



$$F_{TP} \geq F$$

$$F_{TP} = 1,2 F$$

$$N \cdot f = 1,2 F$$

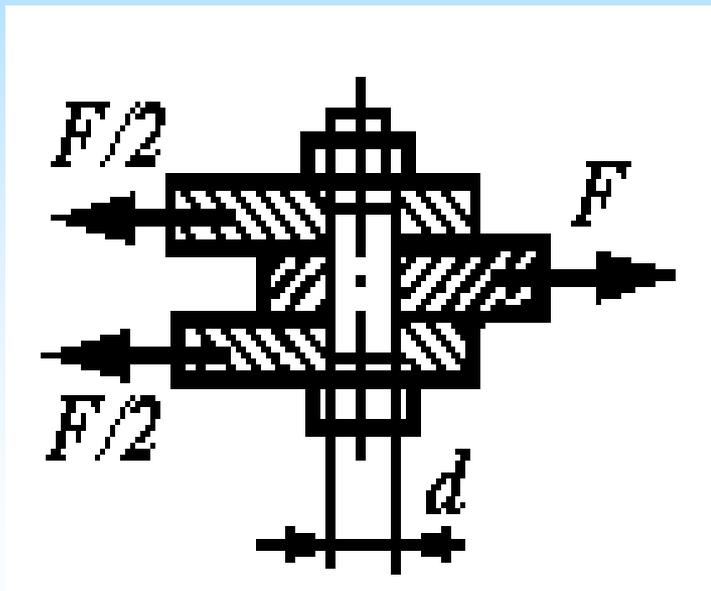
$$N = \frac{1,2 F}{f}$$

$$f = 0,1 \div 0,3$$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{4 \cdot 1,2 F}{\pi d_1^2 f} \leq [\sigma_P] \quad \Rightarrow \quad d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2 F}{\pi [\sigma_P] f}}$$

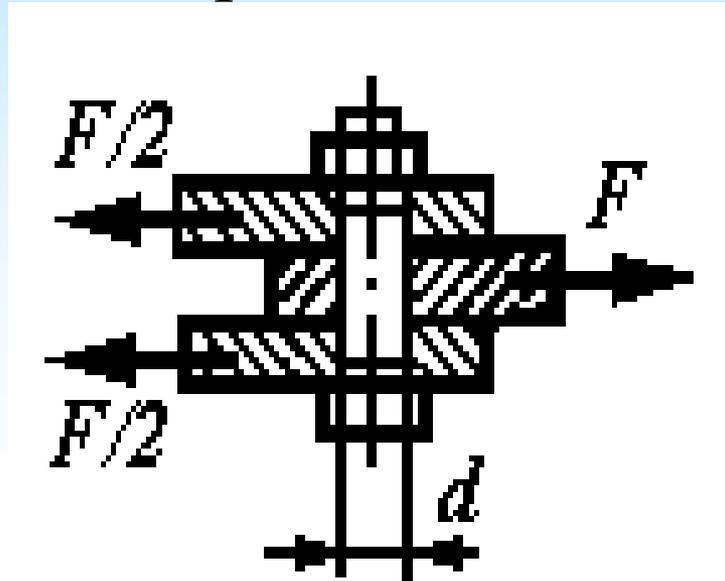
Пример 3

Из расчета на срез определить диаметр d болта, поставленного без зазора, если известны нагрузка $F = 45$ кН и допускаемое напряжение $[\tau_{CP}] = 70$ МПа.

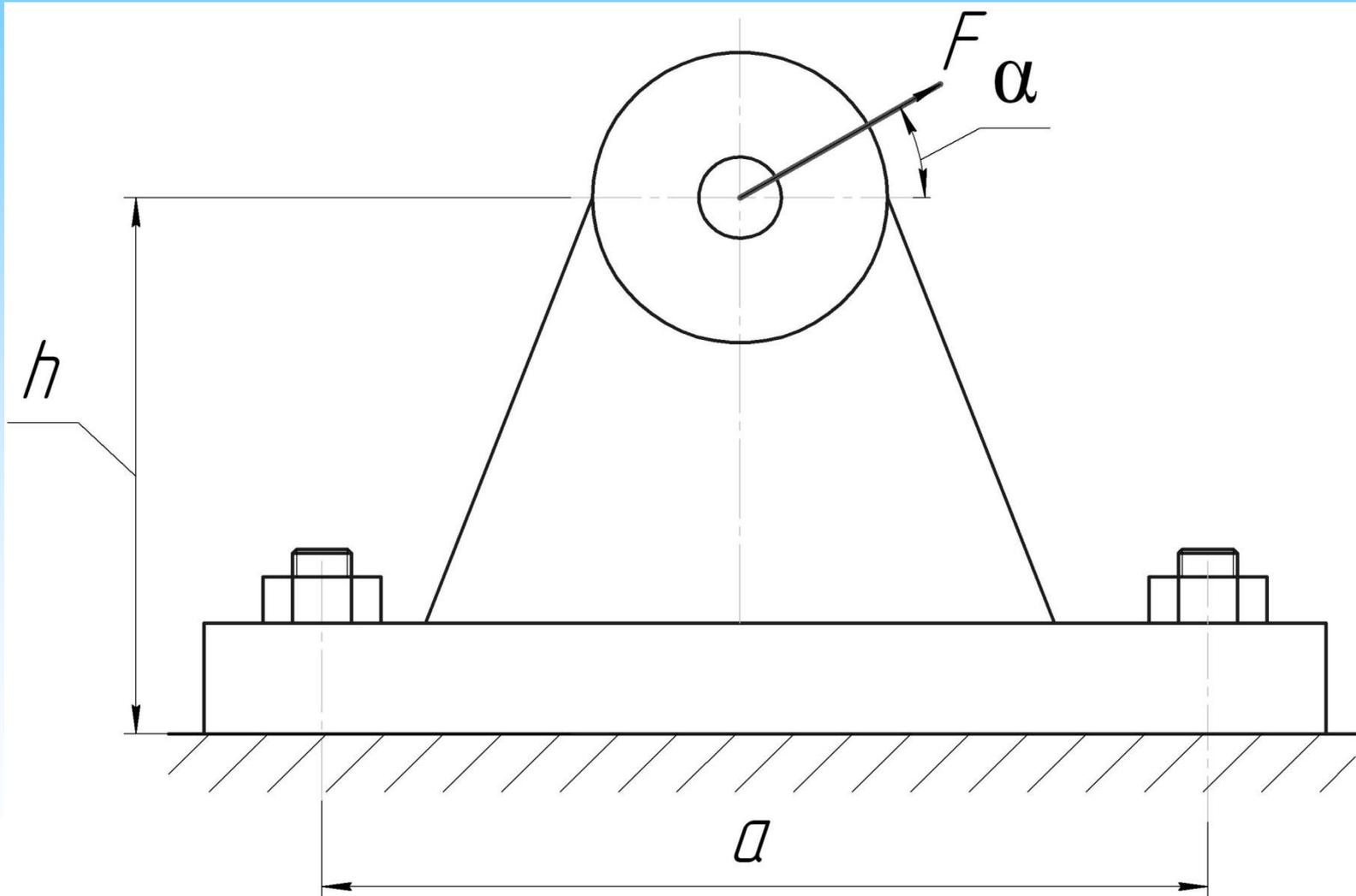


Пример 4

Определить допускаемую сдвигающую нагрузку для затянутого болтового соединения с зазором, если известна осевая сила затяжки $F_{ЗАТ} = 4,2$ кН и коэффициент трения в стыке $f = 0,12$. Коэффициент запаса по трению принять равным $K = 1,3$.



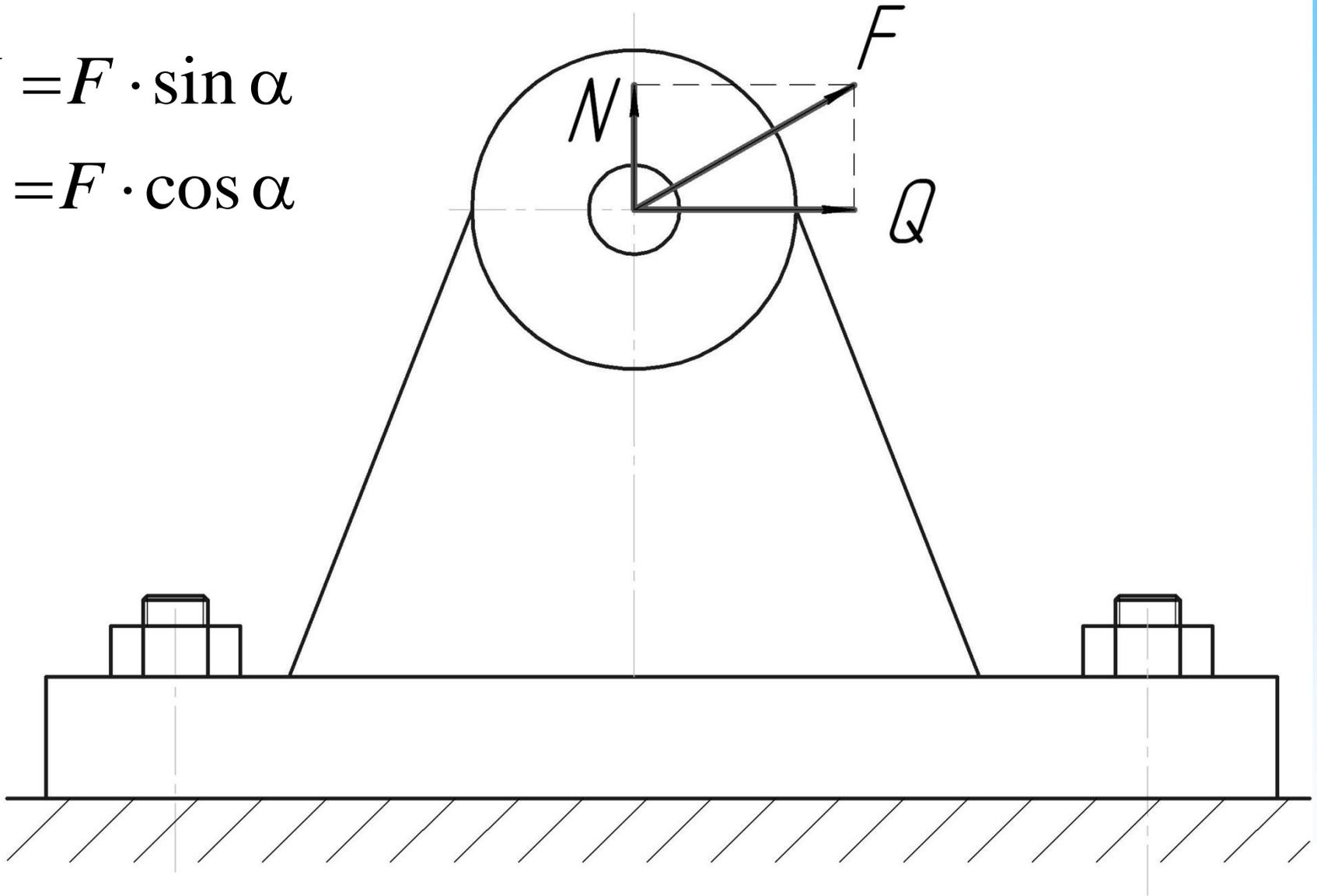
3. Расчет групп болтов



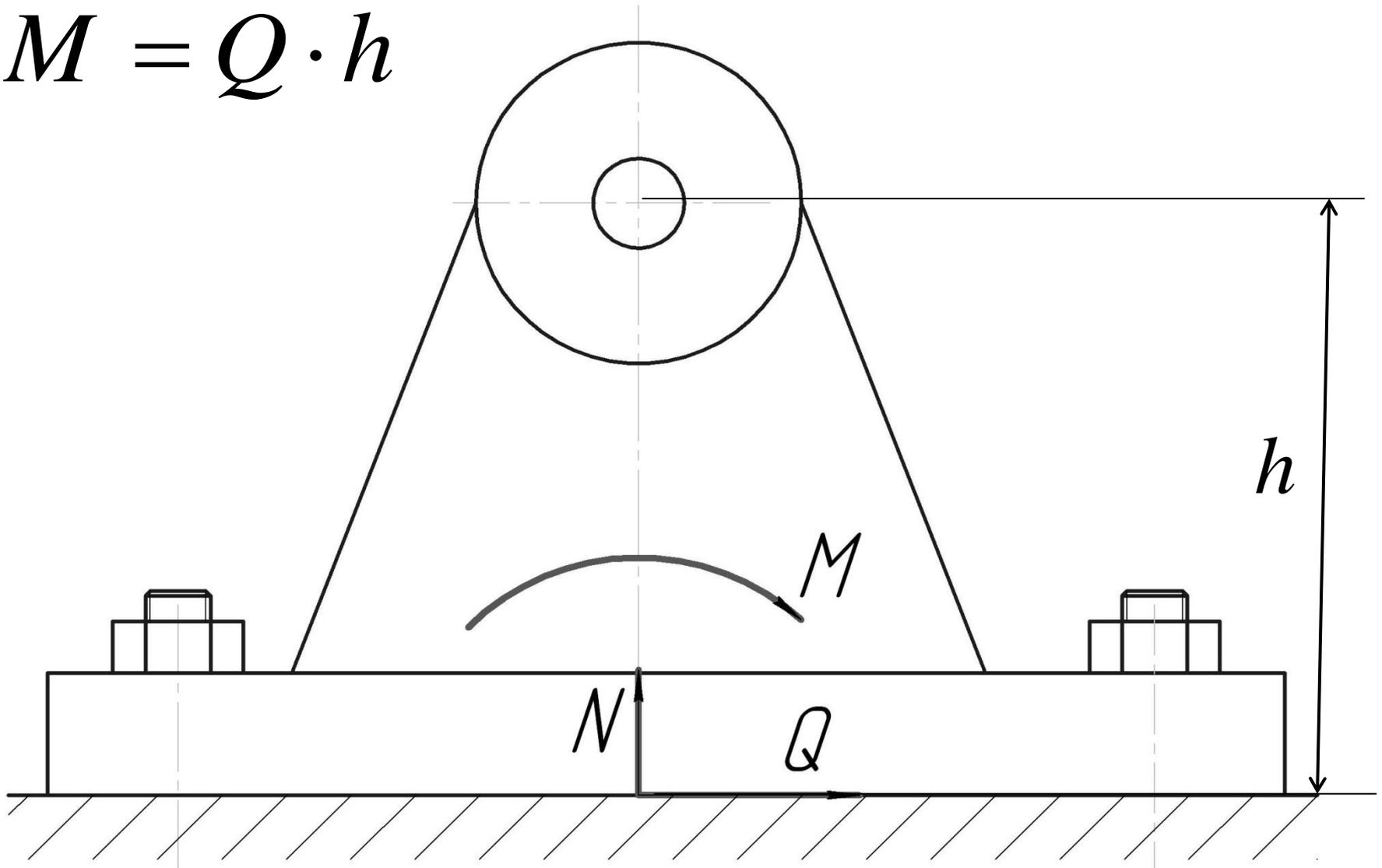
Соединения деталей машин

$$N = F \cdot \sin \alpha$$

$$Q = F \cdot \cos \alpha$$



$$M = Q \cdot h$$

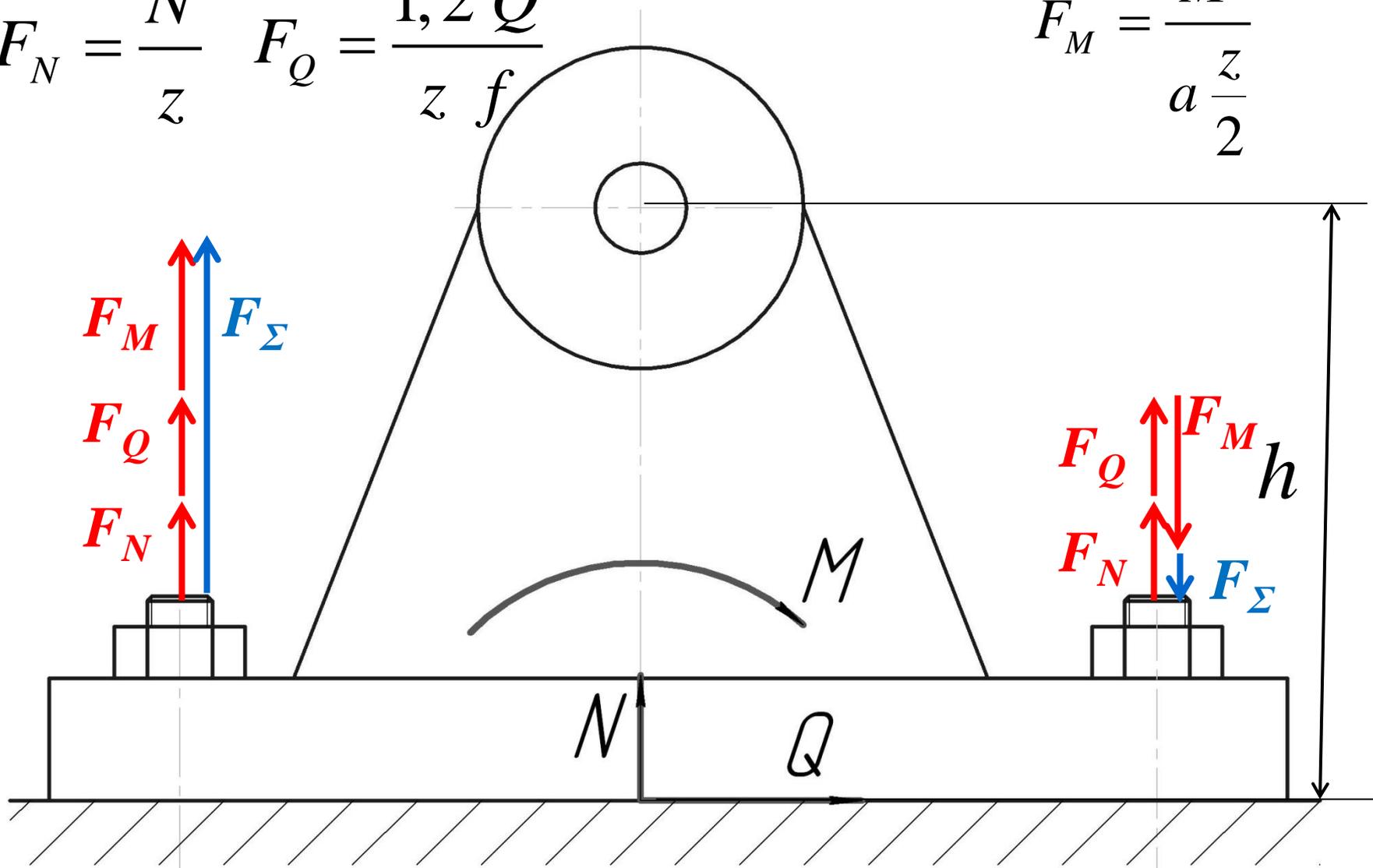


Соединения деталей машин

$$F_N = \frac{N}{z}$$

$$F_Q = \frac{1,2 Q}{z f}$$

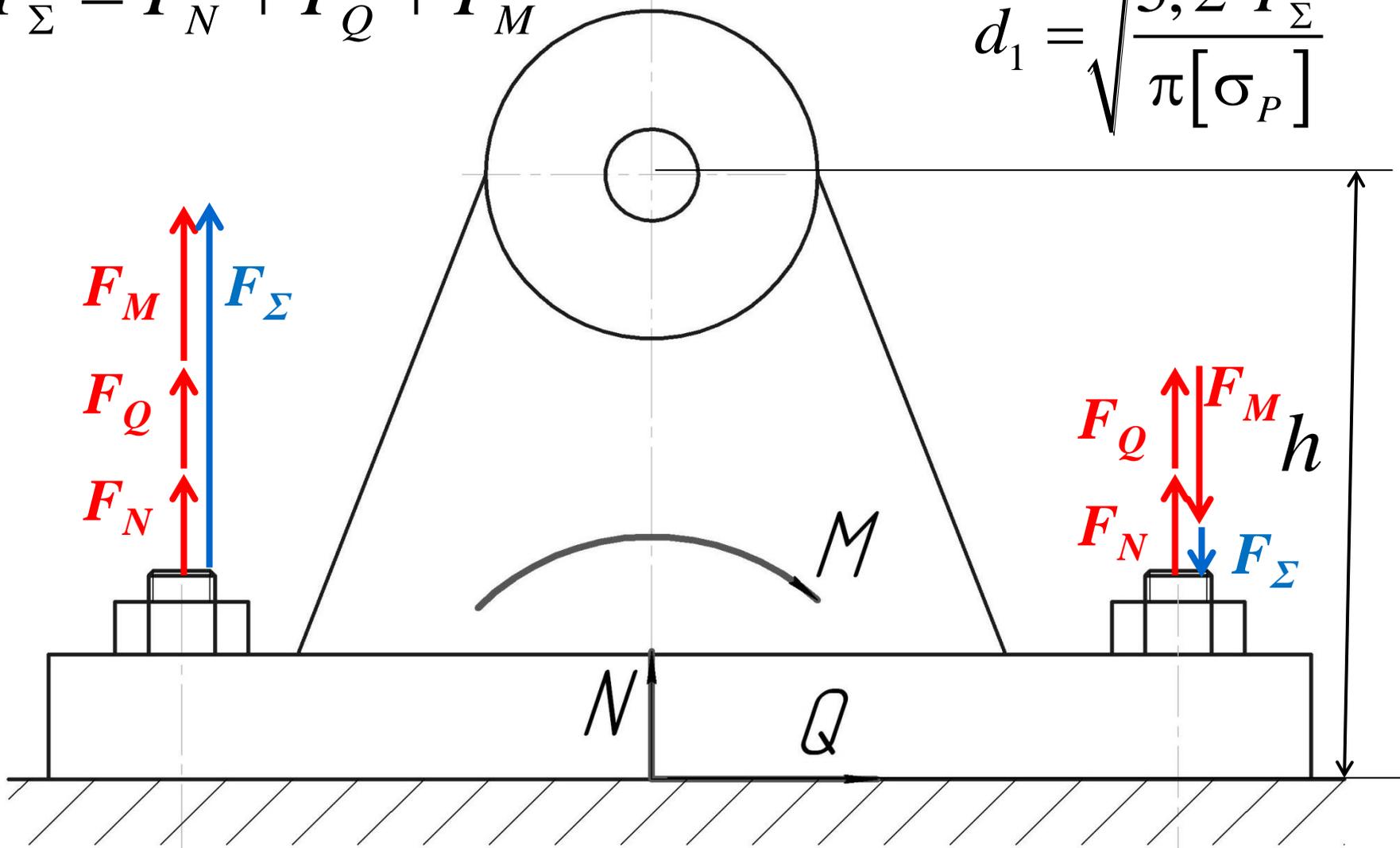
$$F_M = \frac{M}{a \frac{z}{2}}$$



Соединения деталей машин

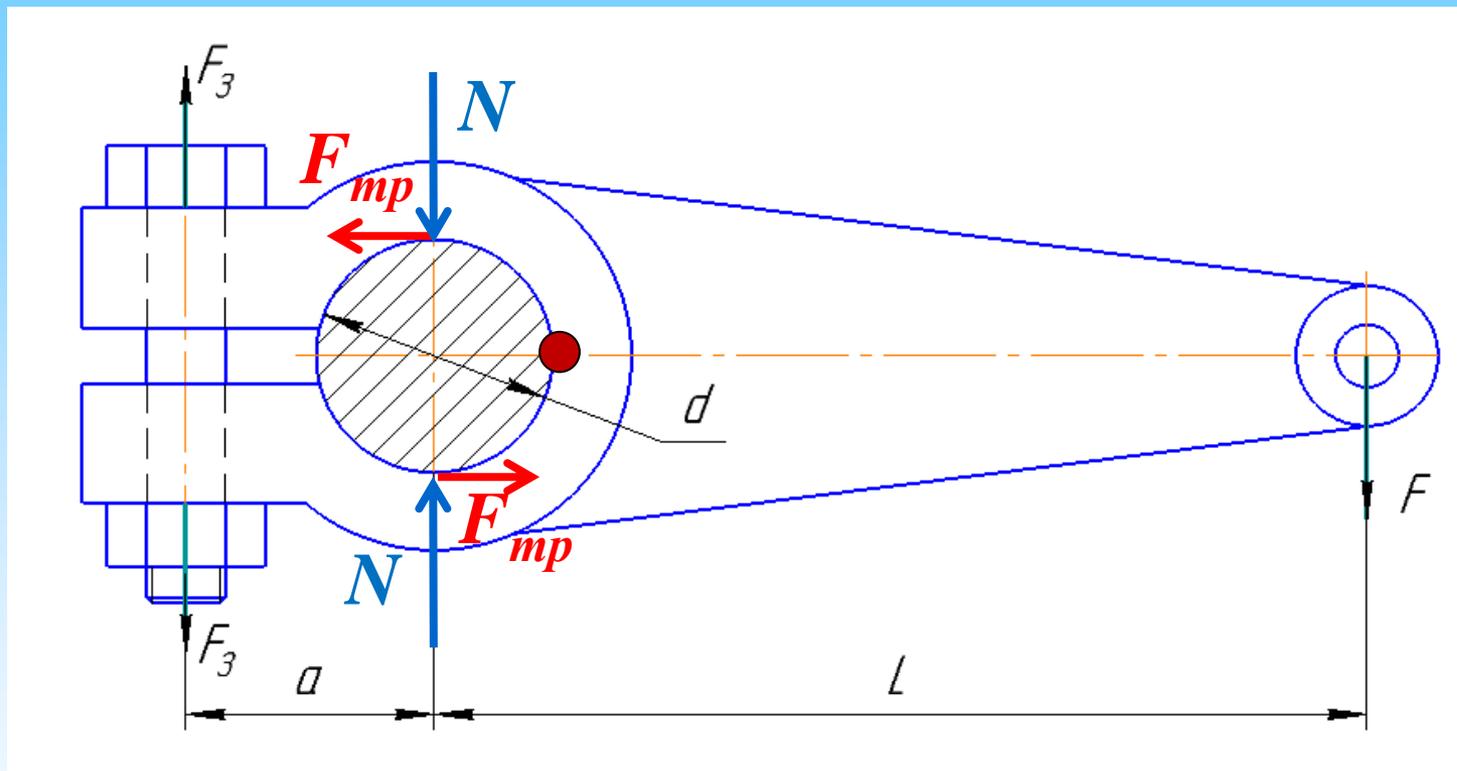
$$F_{\Sigma} = F_N + F_Q + F_M$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{5,2 F_{\Sigma}}{\pi [\sigma_P]}}$$



Соединения деталей машин

Расчет клеммового соединения



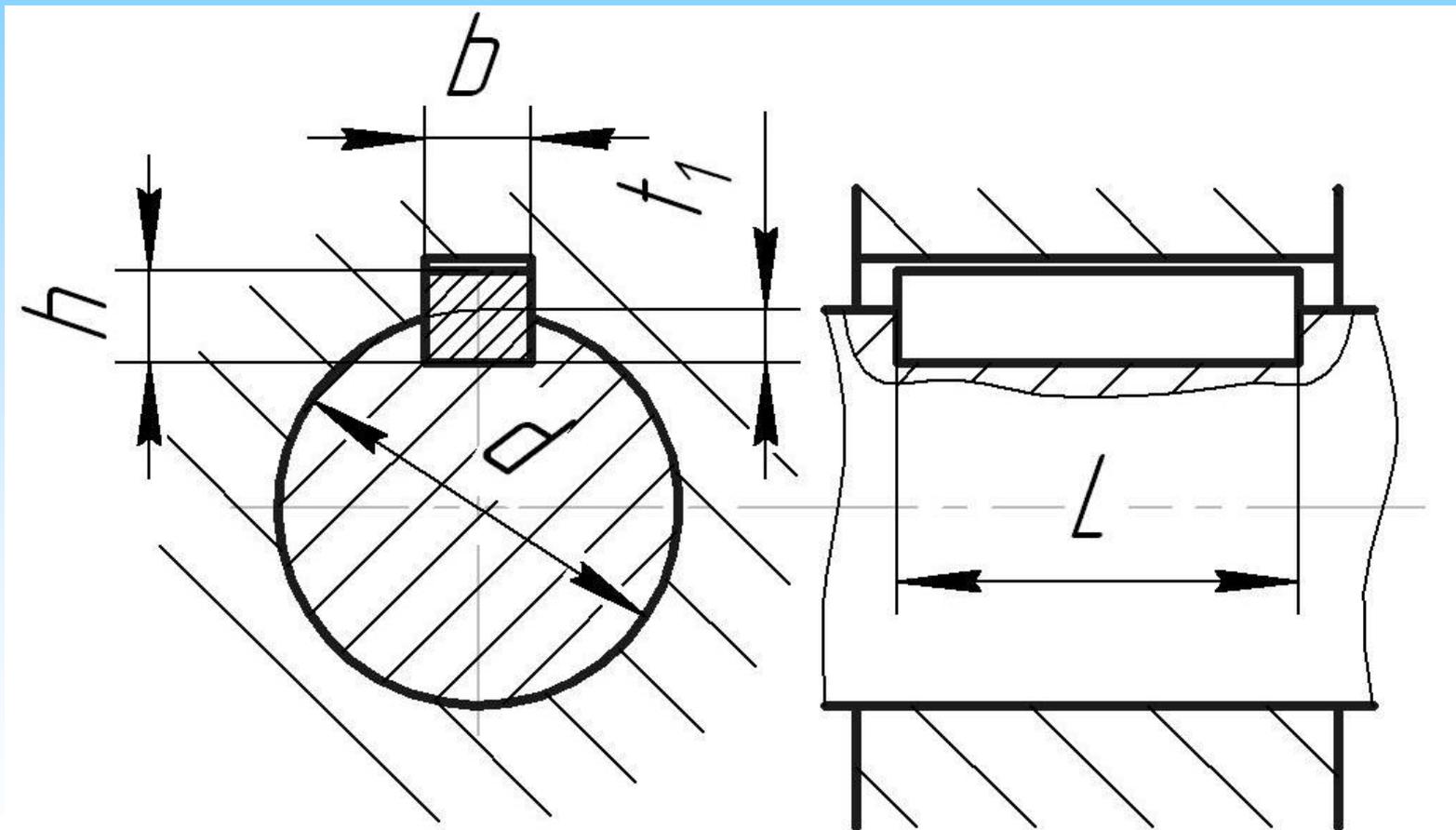
$$F \cdot L = F_{mp} \cdot d \quad \Rightarrow \quad F \cdot L = N \cdot f \cdot d \quad \Rightarrow \quad N = \frac{F \cdot L}{f \cdot d}.$$

$$F_3 = 1,2 N \frac{d/2}{a + d/2}.$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{5,2 F_3}{\pi [\sigma_P]}}$$

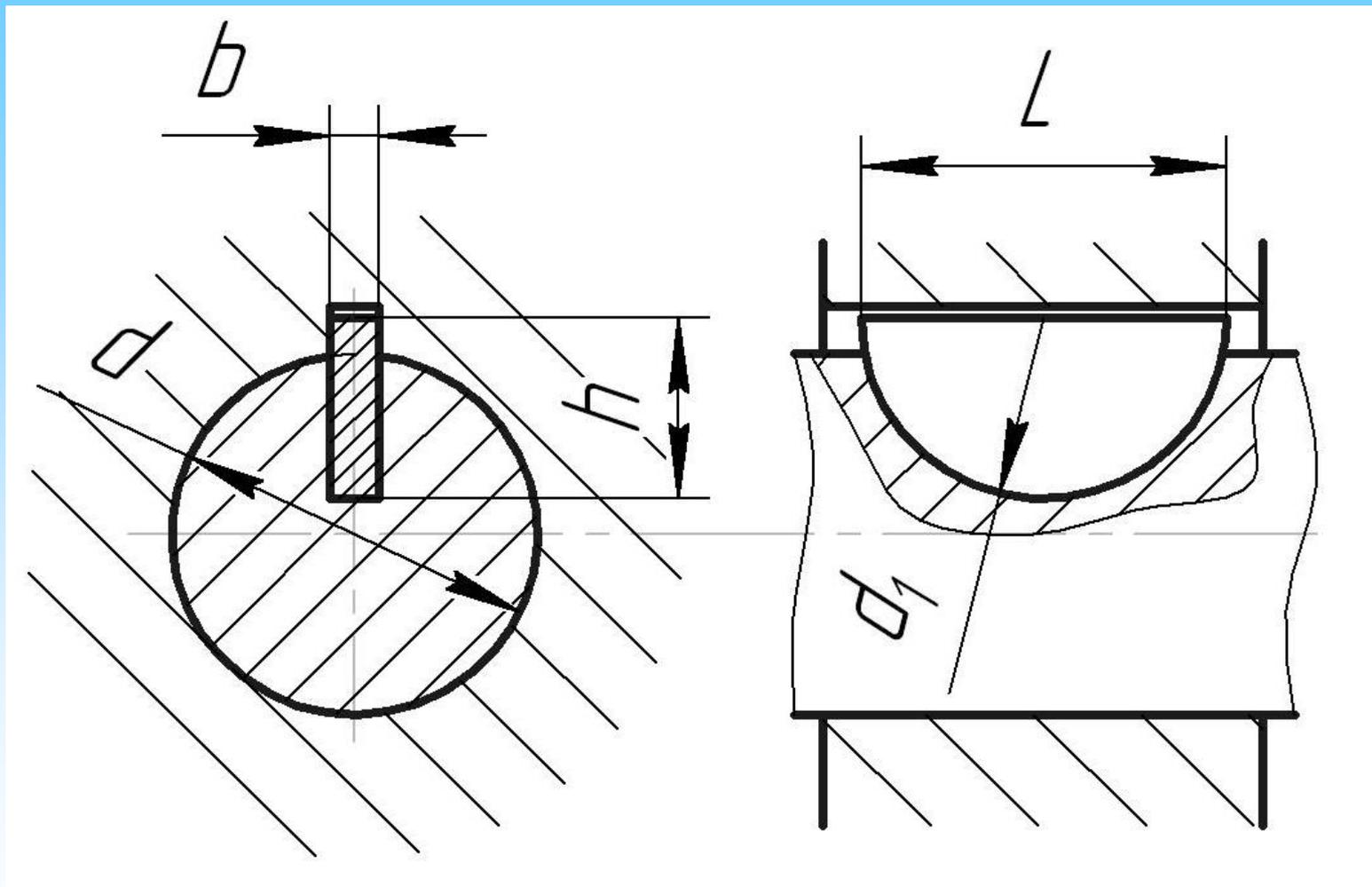
Шпоночные соединения

Служат для передачи крутящего момента



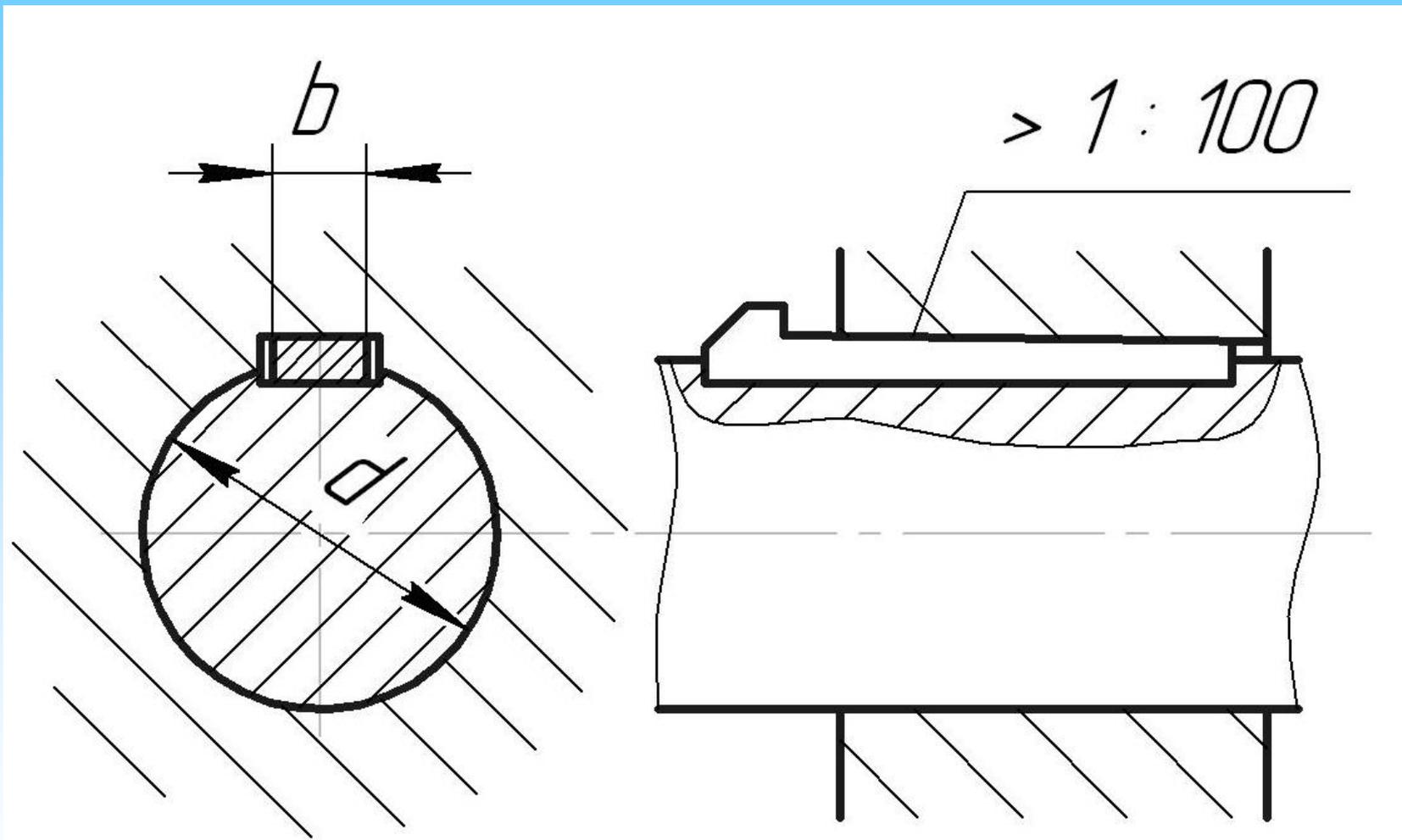
Призматическая шпонка

Шпоночные соединения



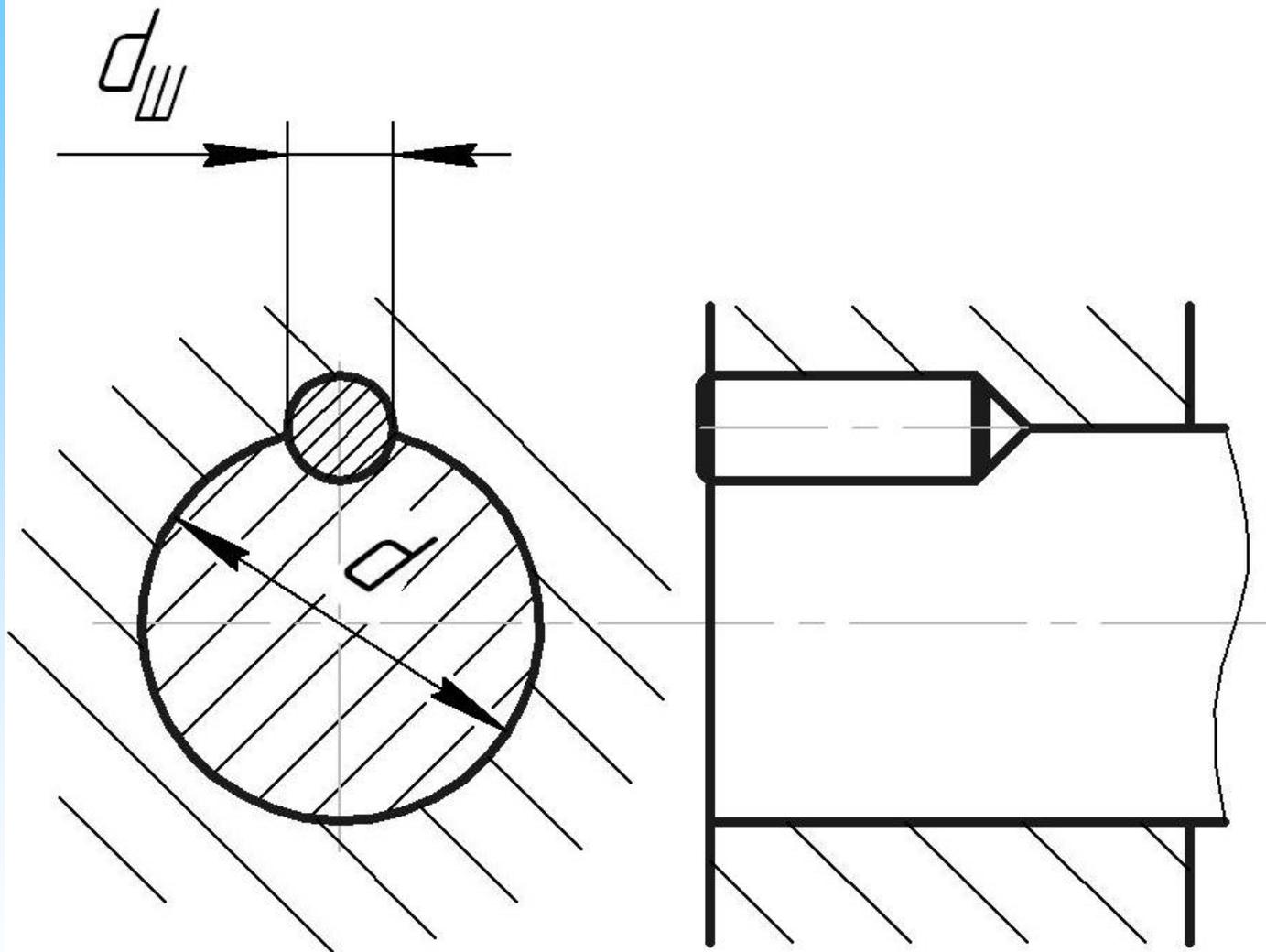
Сегментная шпонка

Шпоночные соединения



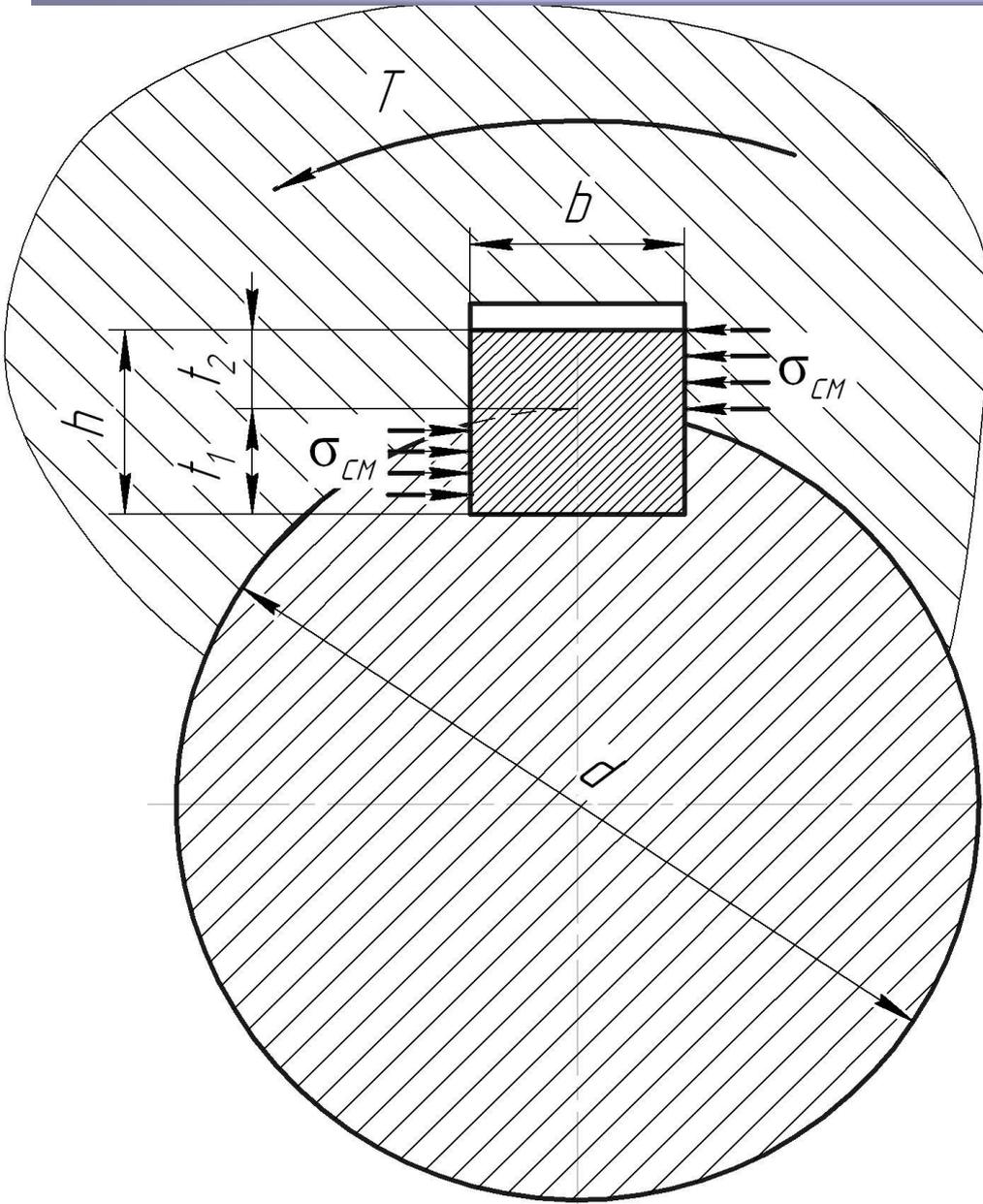
Клиновая шпонка

Шпоночные соединения



Круглая шпонка (штифт)

Шпоночные соединения



$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

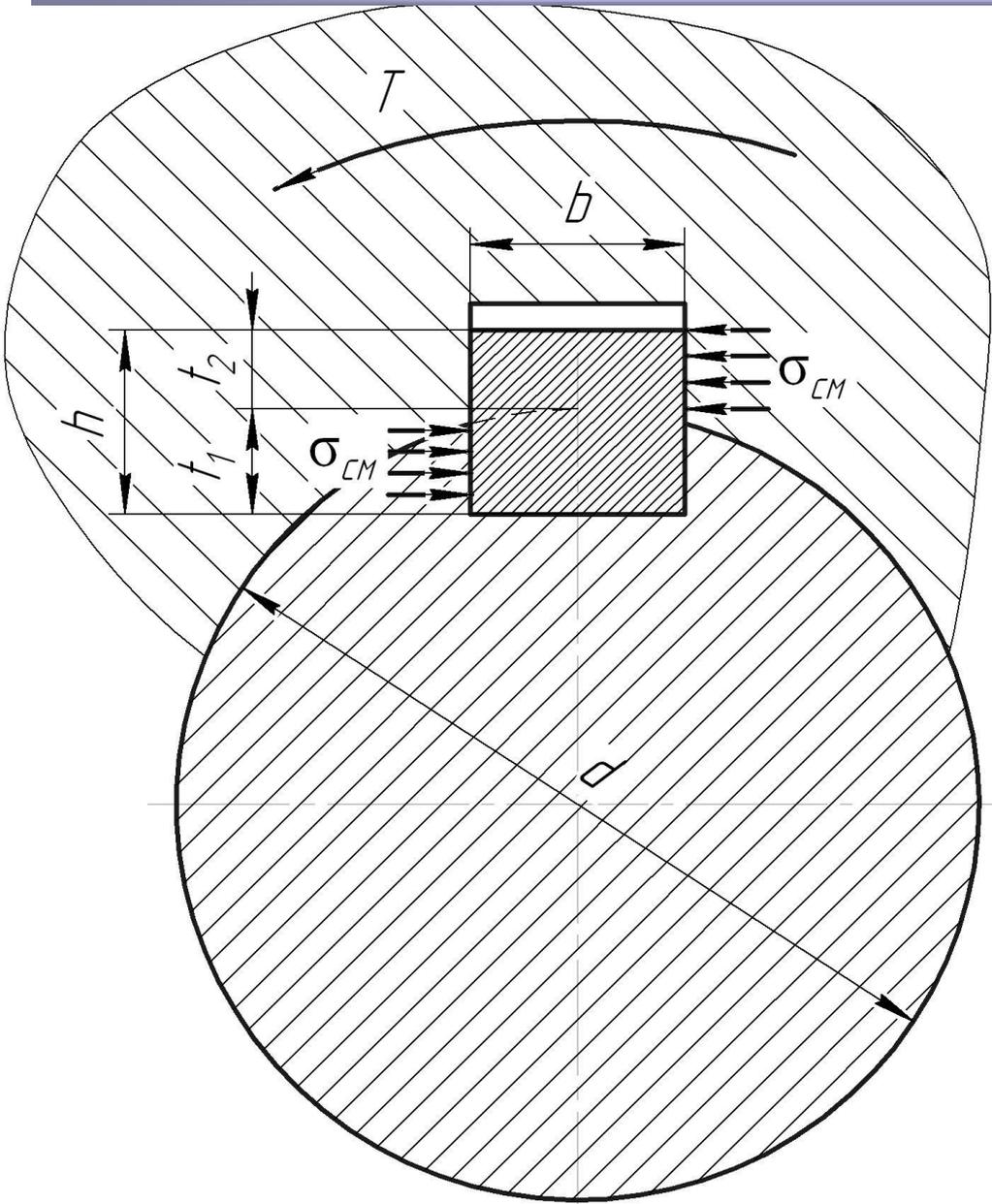
$$F = \frac{T}{r} = \frac{2T}{d}$$

$$A_{см} = t_2 l_P$$

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d t_2 l_P} \leq [\sigma_{см}]$$

$$l_P = \frac{2T}{d t_2 [\sigma_{см}]}$$

Шпоночные соединения



$$\tau_{cp} = \frac{F}{A_{cp}} \leq [\tau_{cp}]$$

$$A_{CP} = B l_P$$

$$\tau_{cp} = \frac{2T}{d B l_p} \leq [\tau_{cp}]$$

Шпоночные соединения

Допускаемые напряжения

$$[\sigma_{см}] = 150 \div 180 \text{ МПа} \quad - \text{ при стальной ступице,}$$

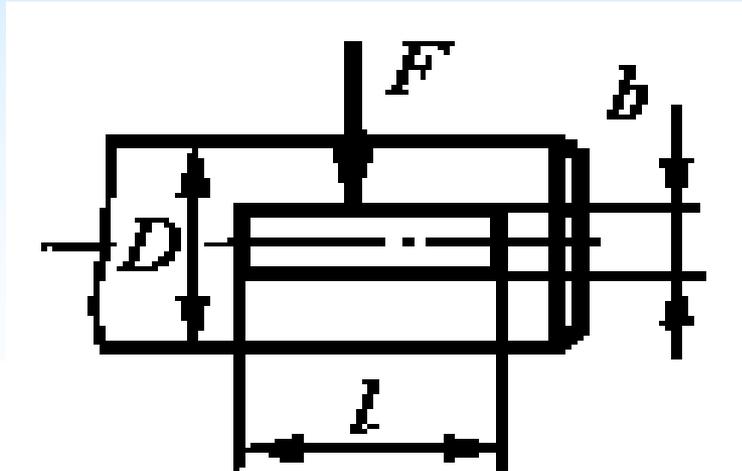
$$[\sigma_{см}] = 70 \div 100 \text{ МПа} \quad - \text{ при чугунной ступице,}$$

$$[\tau_{ср}] = 60 \div 100 \text{ МПа}$$

Шпоночные соединения

Пример

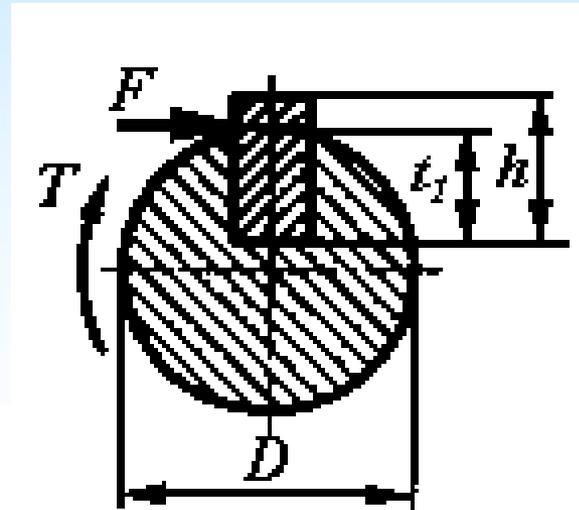
Шкив, сидящий на валу диаметром $D = 15$ мм, срезал сегментную шпонку, шириной $b = 4$ мм и длиной $l = 18,6$ мм. Определить вращающий момент T , если известен предел прочности при срезе материала шпонки $[\tau_{\text{ср}}] = 300$ МПа.



Шпоночные соединения

Пример

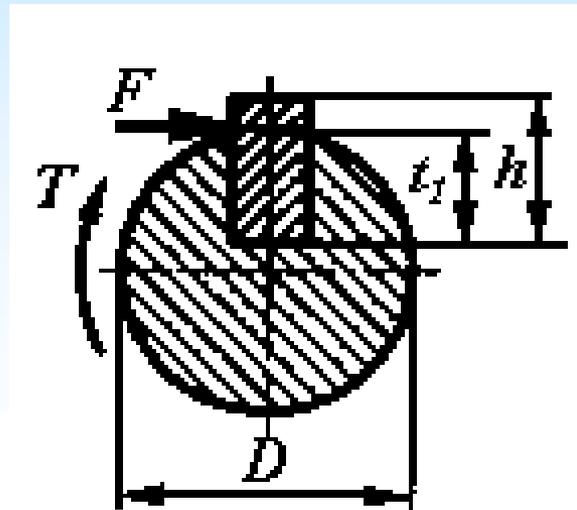
Определить напряжения смятия $\sigma_{\text{сж}}$ в соединении призматической шпонкой, передающем вращающий момент $T = 600 \text{ Н}\cdot\text{м}$, если диаметр вала $D = 40 \text{ мм}$, а рабочая длина шпонки $l_p = 80 \text{ мм}$, (высоту площадки смятия принять $h - t_1 = 3 \text{ мм}$).



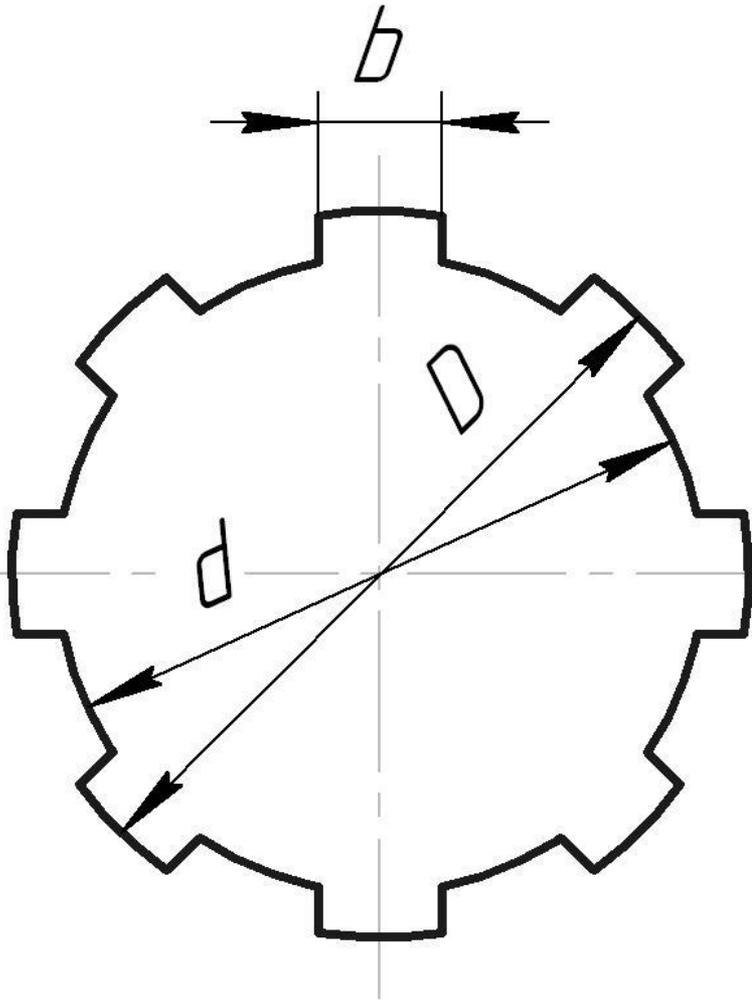
Шпоночные соединения

Пример

Определить рабочую длину шпонки l_p исходя из напряжения смятия $[\sigma_{сМ}] = 125$ МПа, необходимую для передачи вращающего момента $T = 510$ Н·м, если диаметр вала $D = 40$ мм, а высоту площадки смятия принять $h - t_1 = 3$ мм.



Шлицевые соединения



$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{2T}{d_{ср}}$$

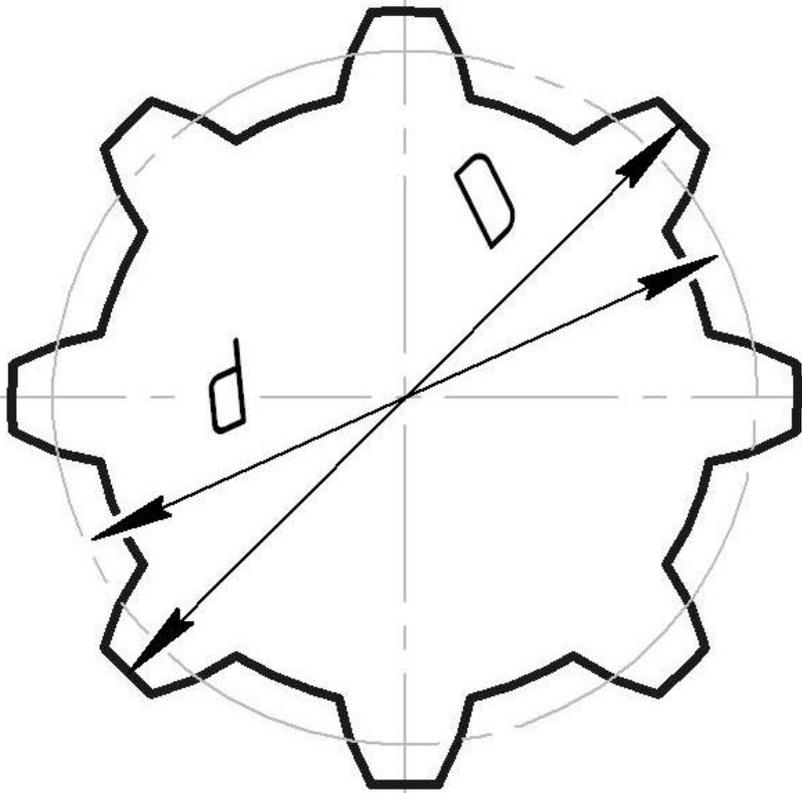
$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d_{ср} A_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

$$d_{ср} = \frac{D + d}{2}$$

$$A_{см} = h_p l z$$

Прямобочное шлицевое соединение

Шлицевые соединения



$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d A_{сМ}} \leq [\sigma_{см}]$$

$$d = m z$$

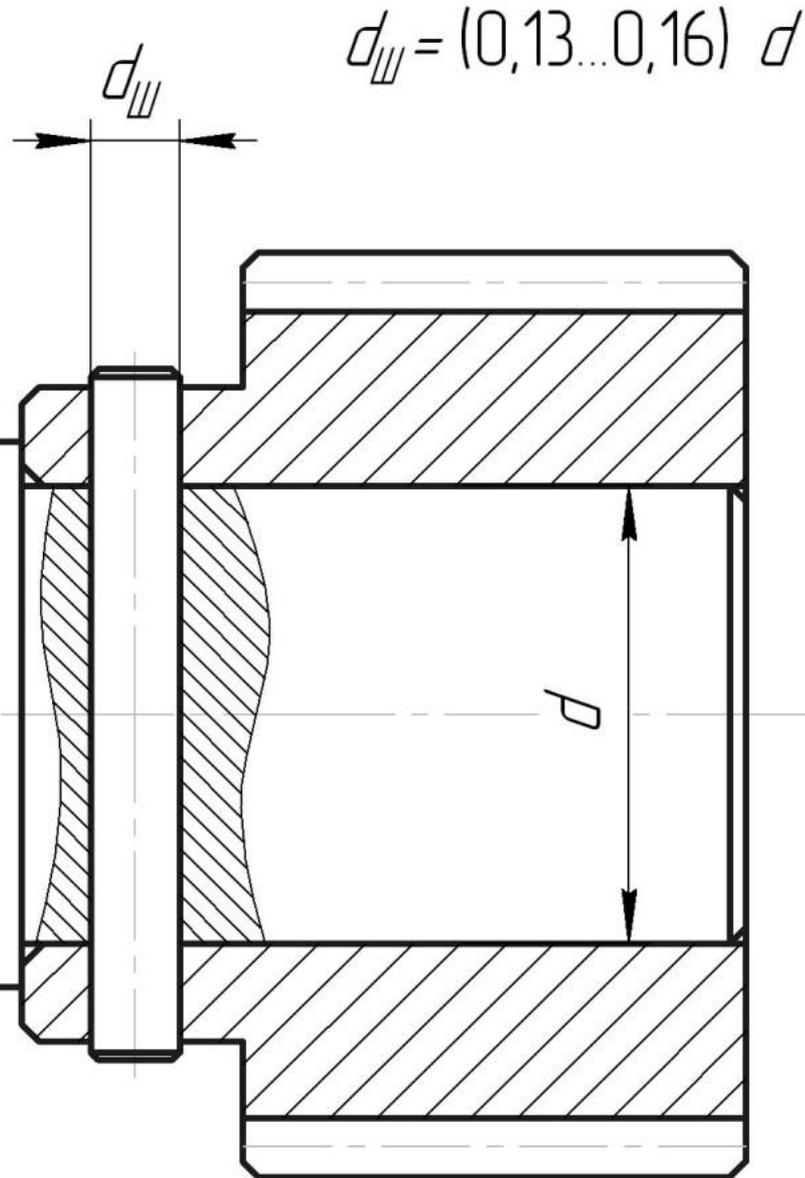
d - делительный диаметр,
 m - модуль

$$A_{сМ} = h_p l z$$

$$h_p = 0,8 m$$

Эвольвентное шлицевое соединение

Штифтовые соединения

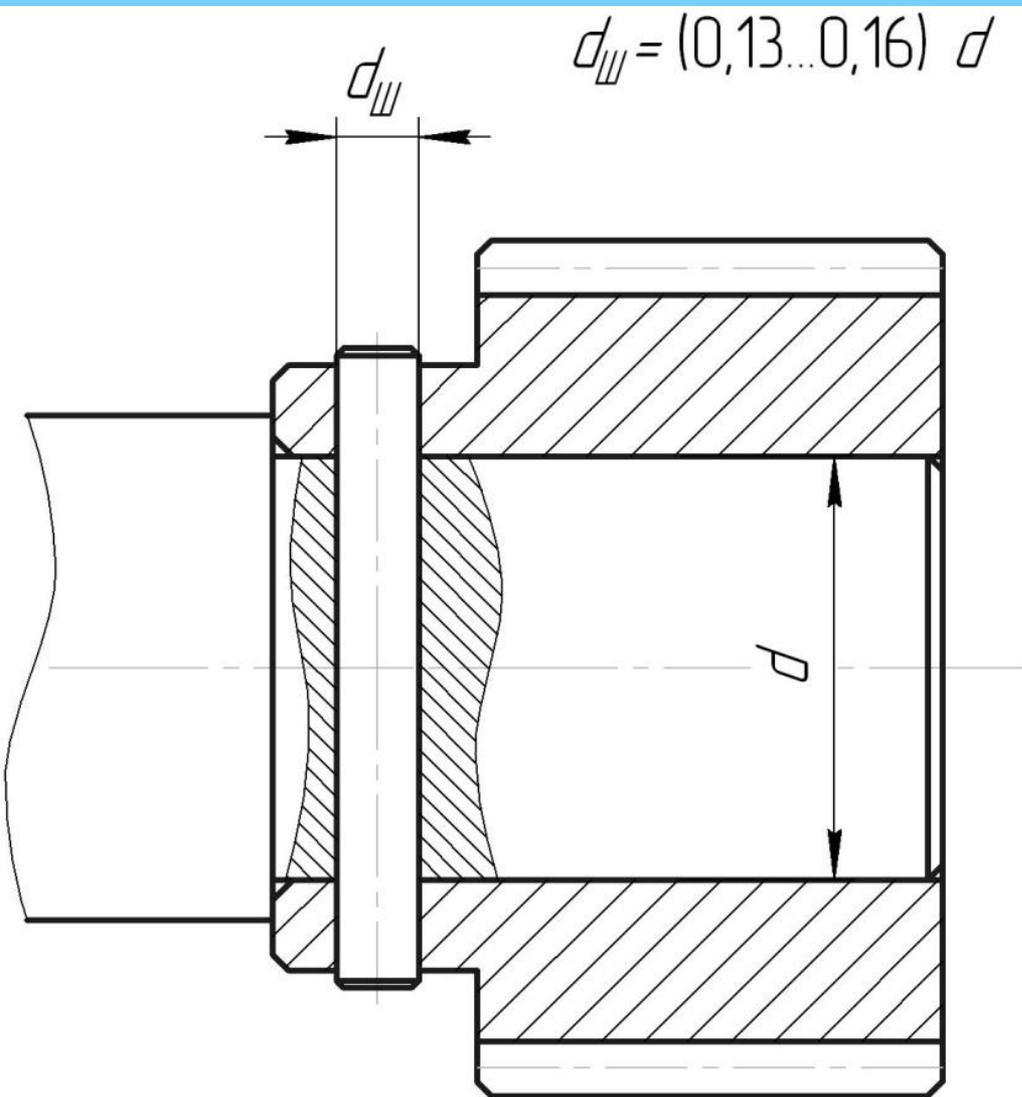


$$\tau = \frac{F}{A} \leq [\tau_{cp}]$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{2T}{d}$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{8T}{d i \pi d_{III}^2} \leq [\tau_{cp}]$$

Штифтовые соединения

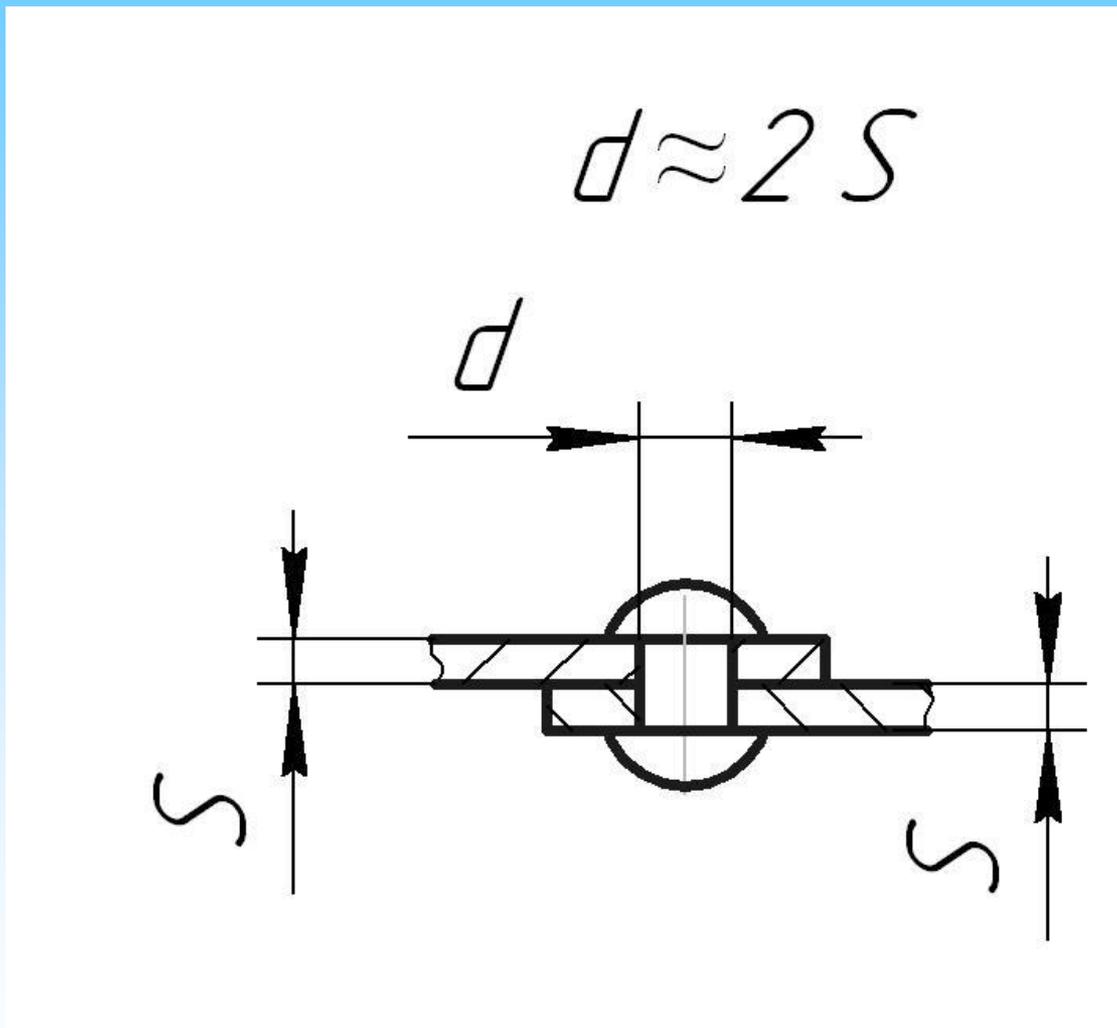


$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

$$A_{см} = (D - d) d_{Ш}$$

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{d (D - d) d_{Ш}} \leq [\sigma_{см}]$$

Заклепочные соединения

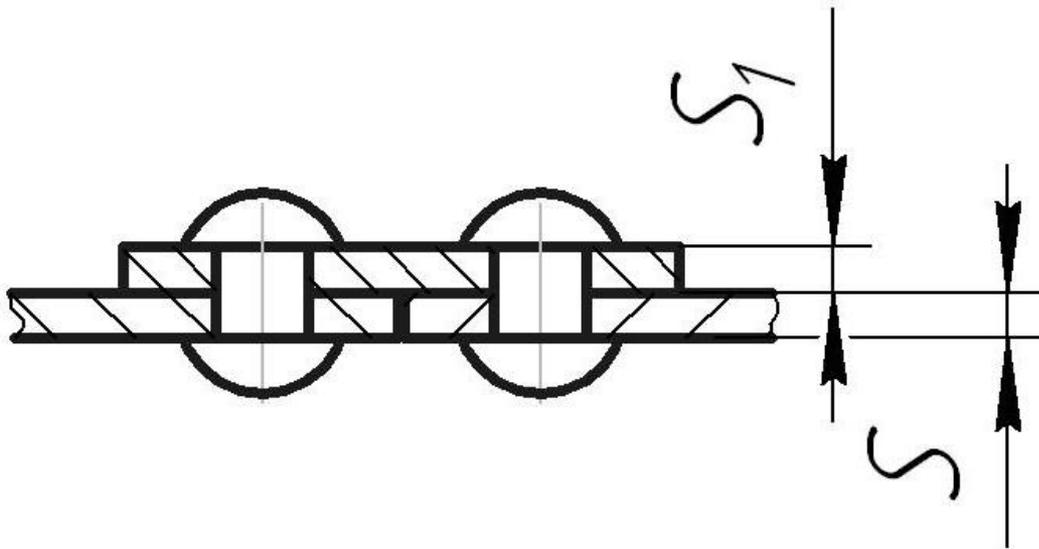


Нахлесточное соединение

Заклепочные соединения

$$d \approx 2S$$

$$S_1 \approx 1,25S$$

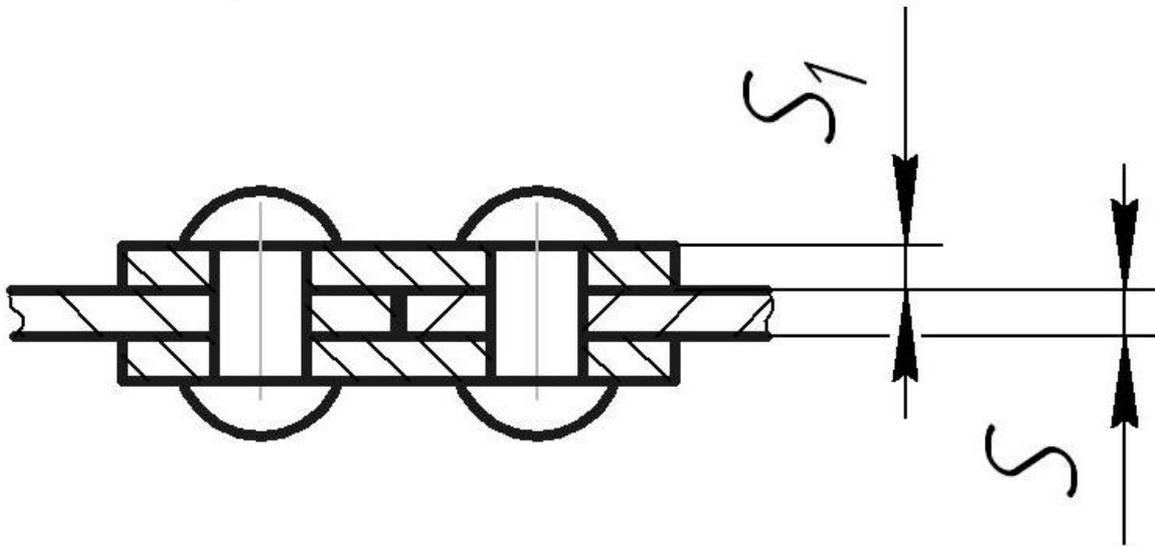


Стыковое соединение с одной накладкой

Заклепочные соединения

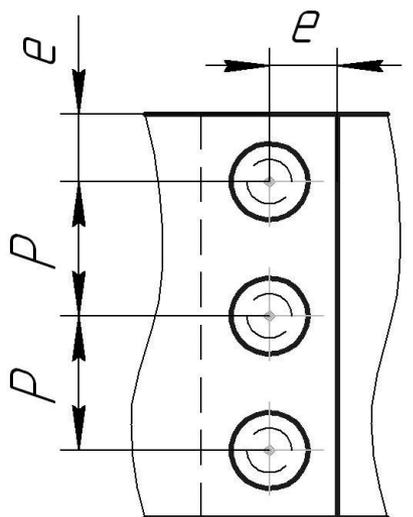
$$d \approx 1,5 S$$

$$S_1 \approx 0,75 S$$



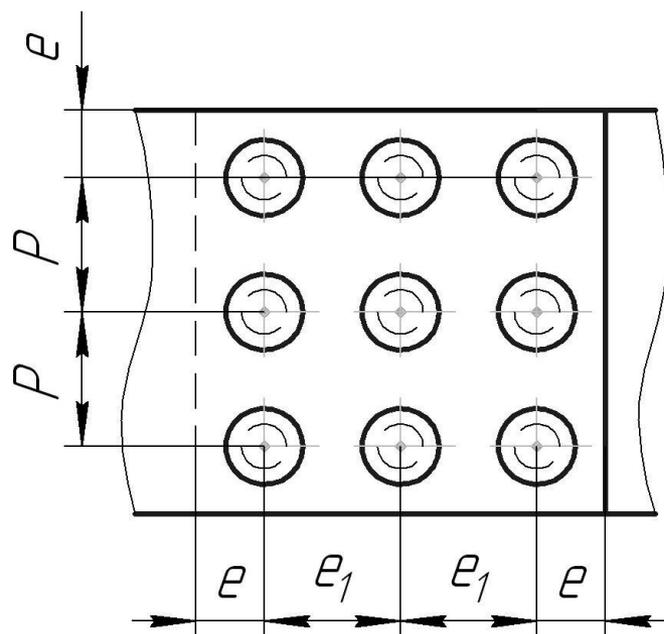
Стыковое соединение с двумя накладками

Заклепочные соединения



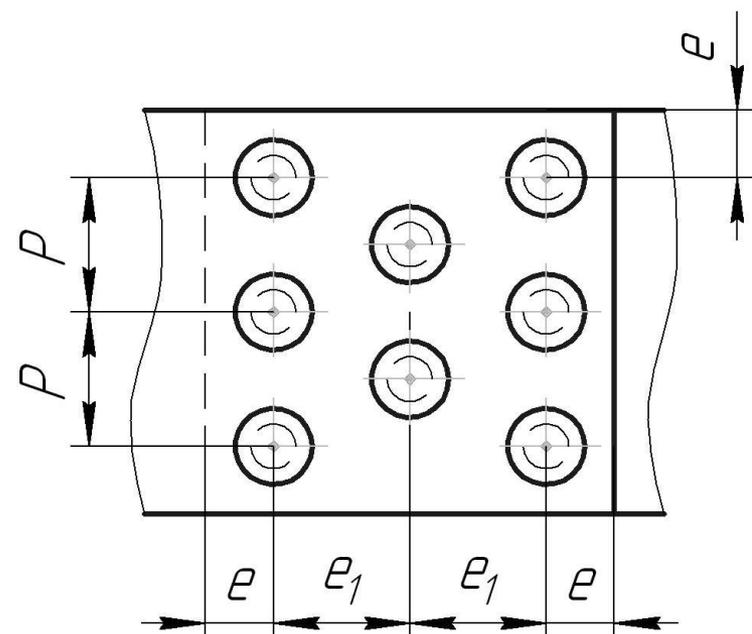
$$e = (1,5 \dots 2) d$$

$$P \geq 3 d$$



$$e_1 = (3 \dots 6) d$$

$$P = (3 \dots 6) d$$



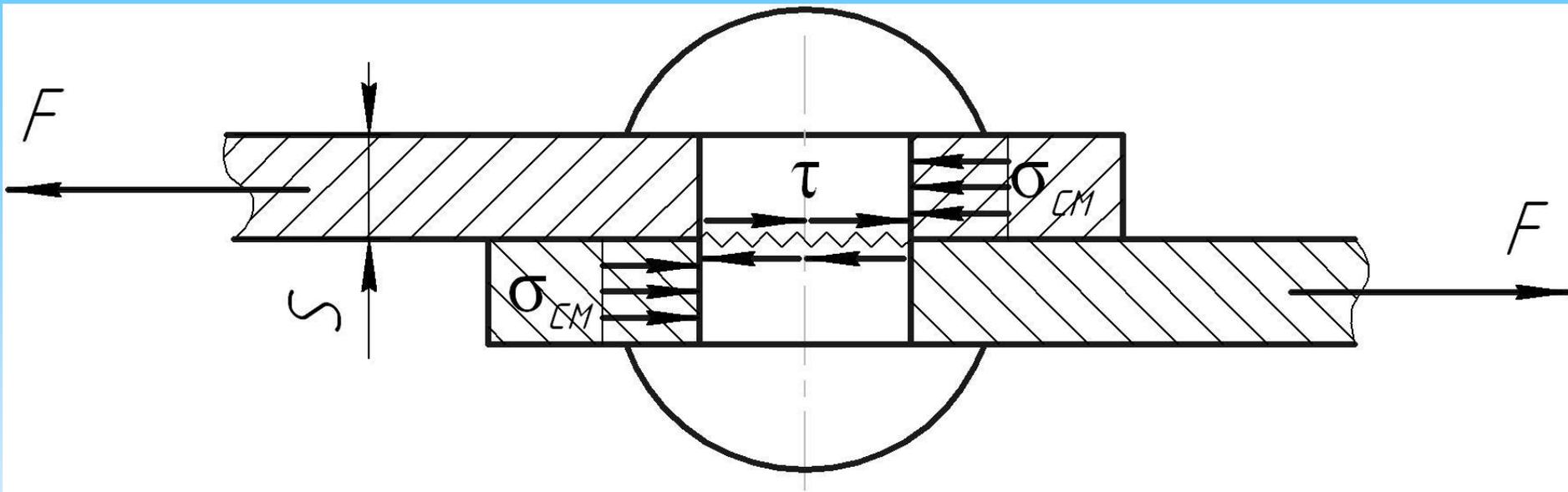
$$e_1 = (2 \dots 3) d$$

$$P = (3 \dots 6) d$$

коридорное
расположение

шахматное
расположение

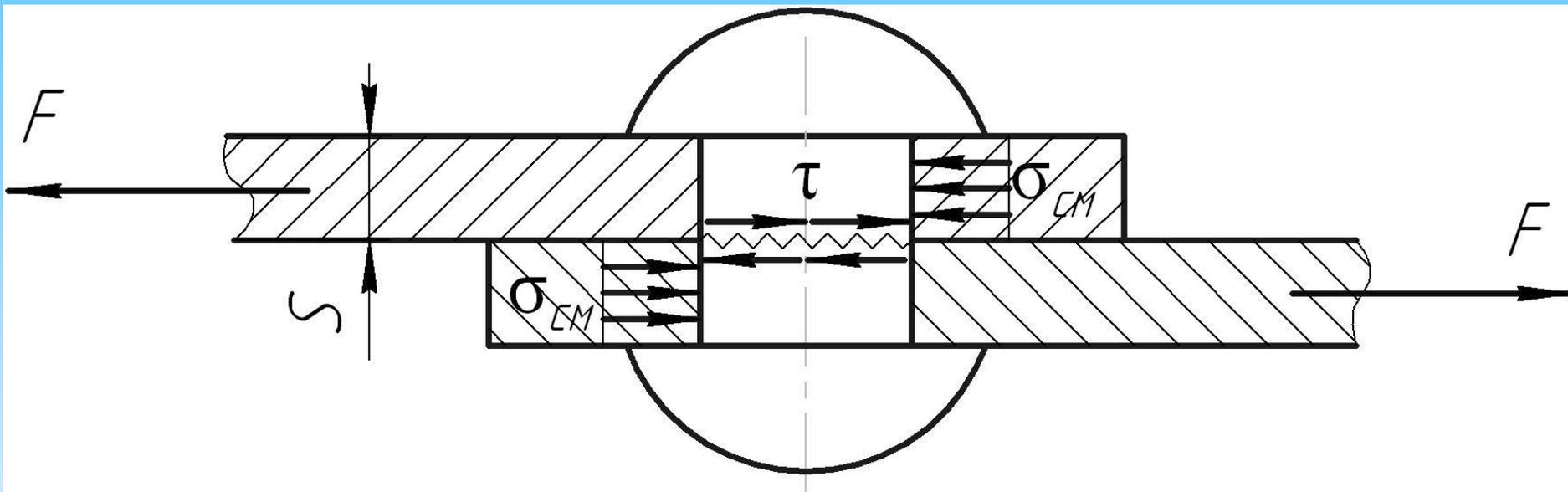
Соединения деталей машин



Условие прочности на срез:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{4F}{z \pi d^2 i} \leq [\tau_{ср}]$$

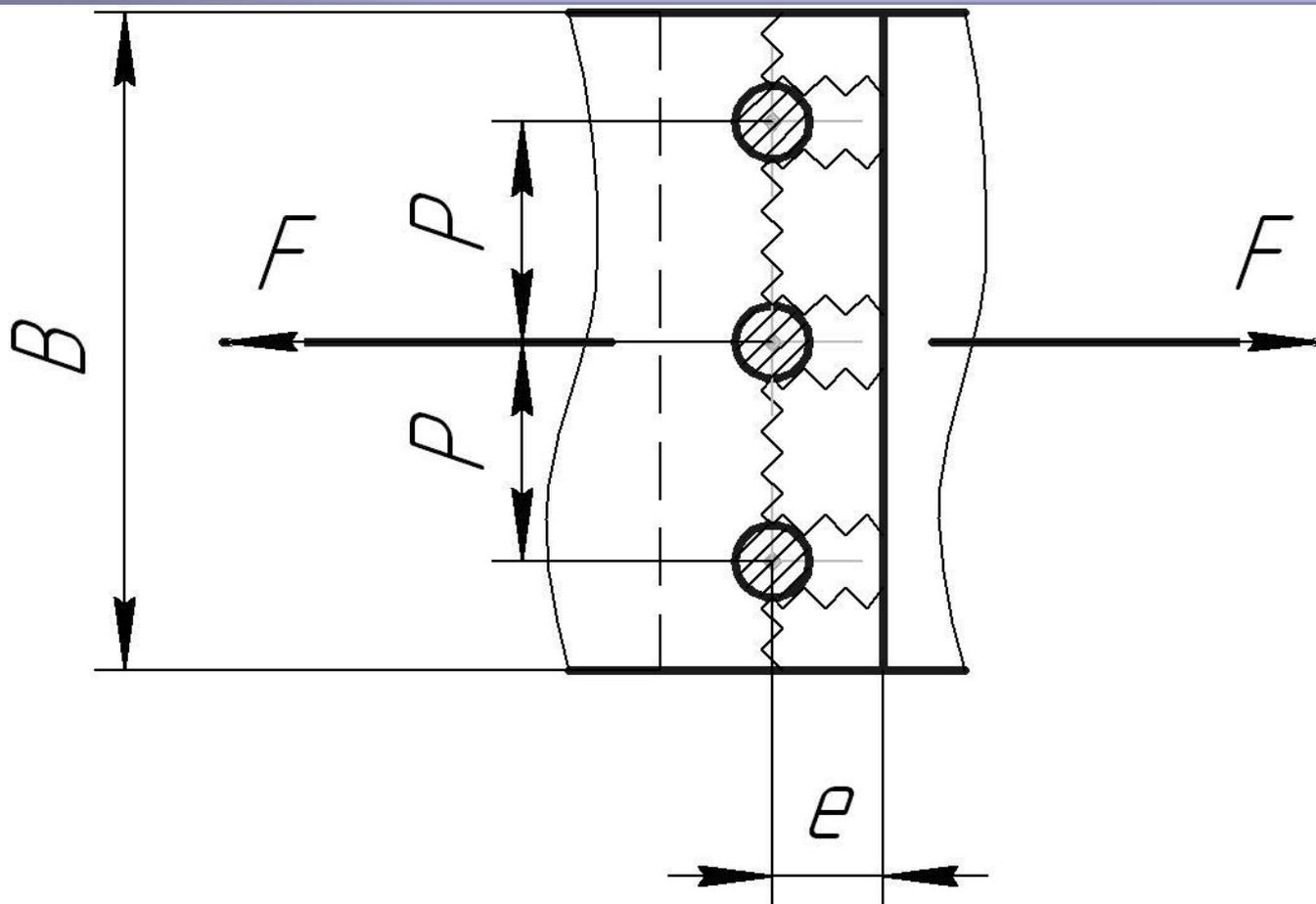
Соединения деталей машин



Условие прочности на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} = \frac{F}{z S_{\min} d} \leq [\sigma_{см}]$$

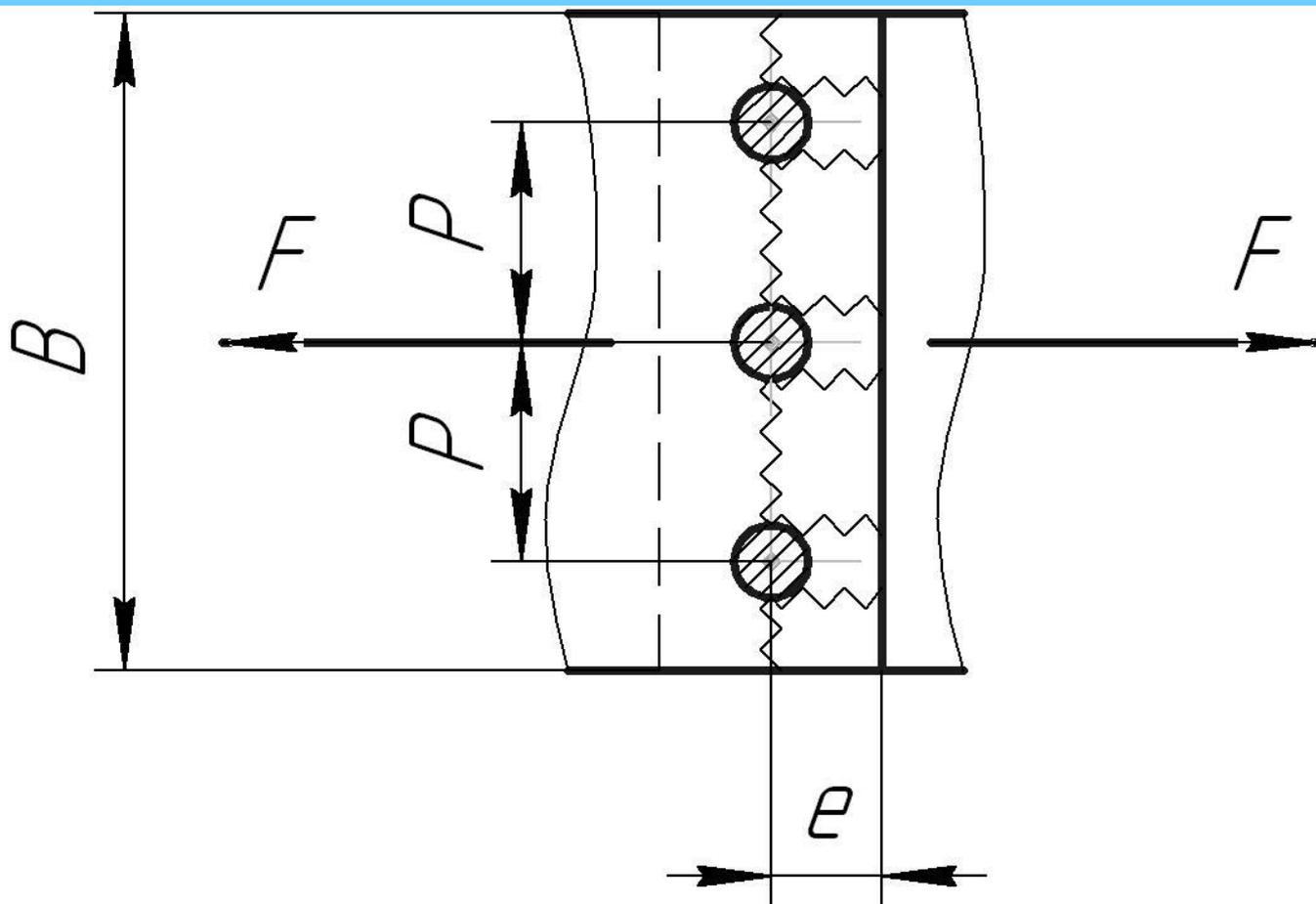
Соединения деталей машин



Условие прочности листа на растяжение

$$\sigma_p = \frac{F}{A} = \frac{F}{S_{\min} (B - z d)} \leq [\sigma_p]$$

Соединения деталей машин



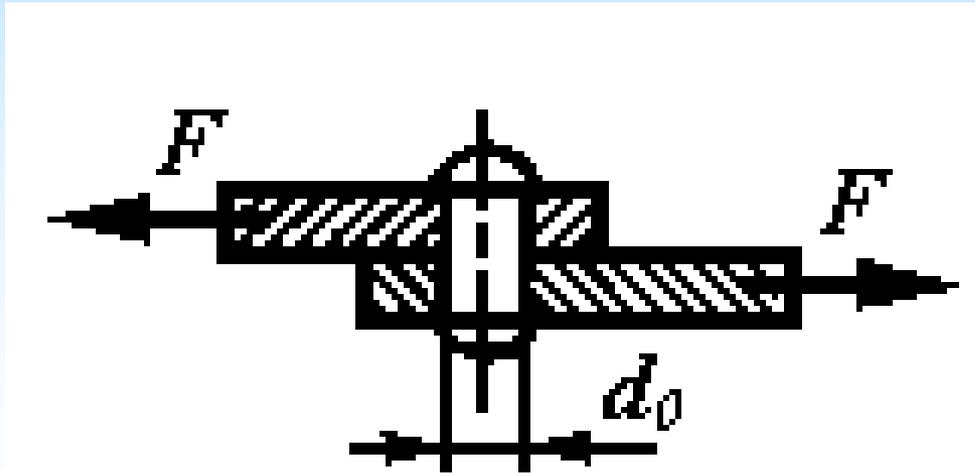
Условие прочности листа на срез

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{2S_{\min} (e - 0,5d) z} \leq [\tau_{cp}]$$

Шпоночные соединения

Пример

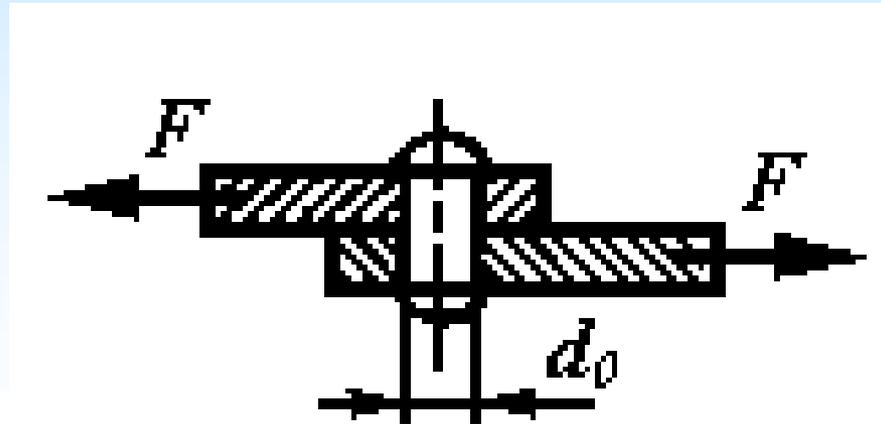
Из расчета заклепок на срез определить диаметр d_0 поставленной заклепки, если приложена нагрузка $F = 80$ кН, число заклепок $Z = 10$ и допускаемое напряжение $[\tau_{CP}] = 140$ МПа.



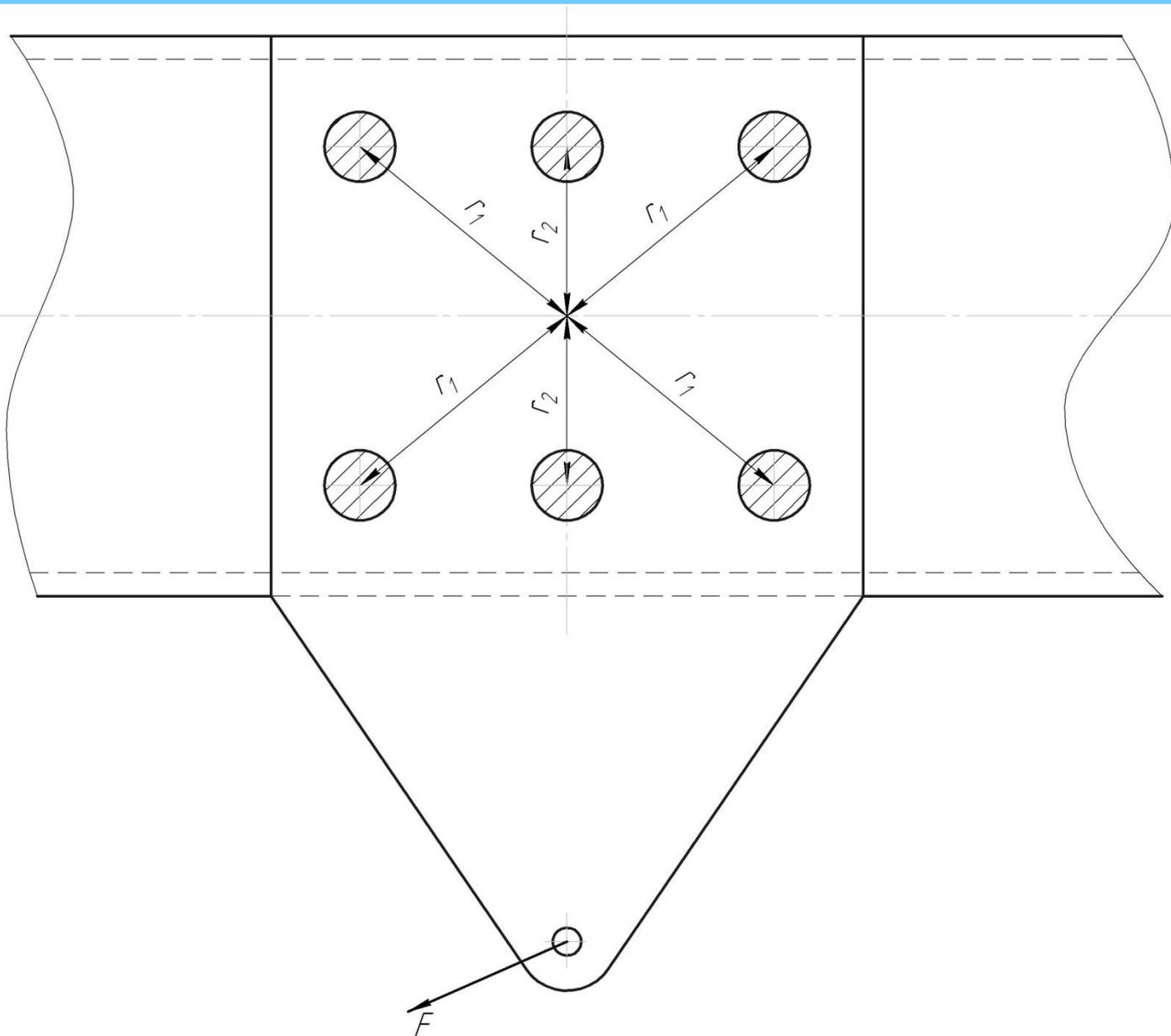
Шпоночные соединения

Пример

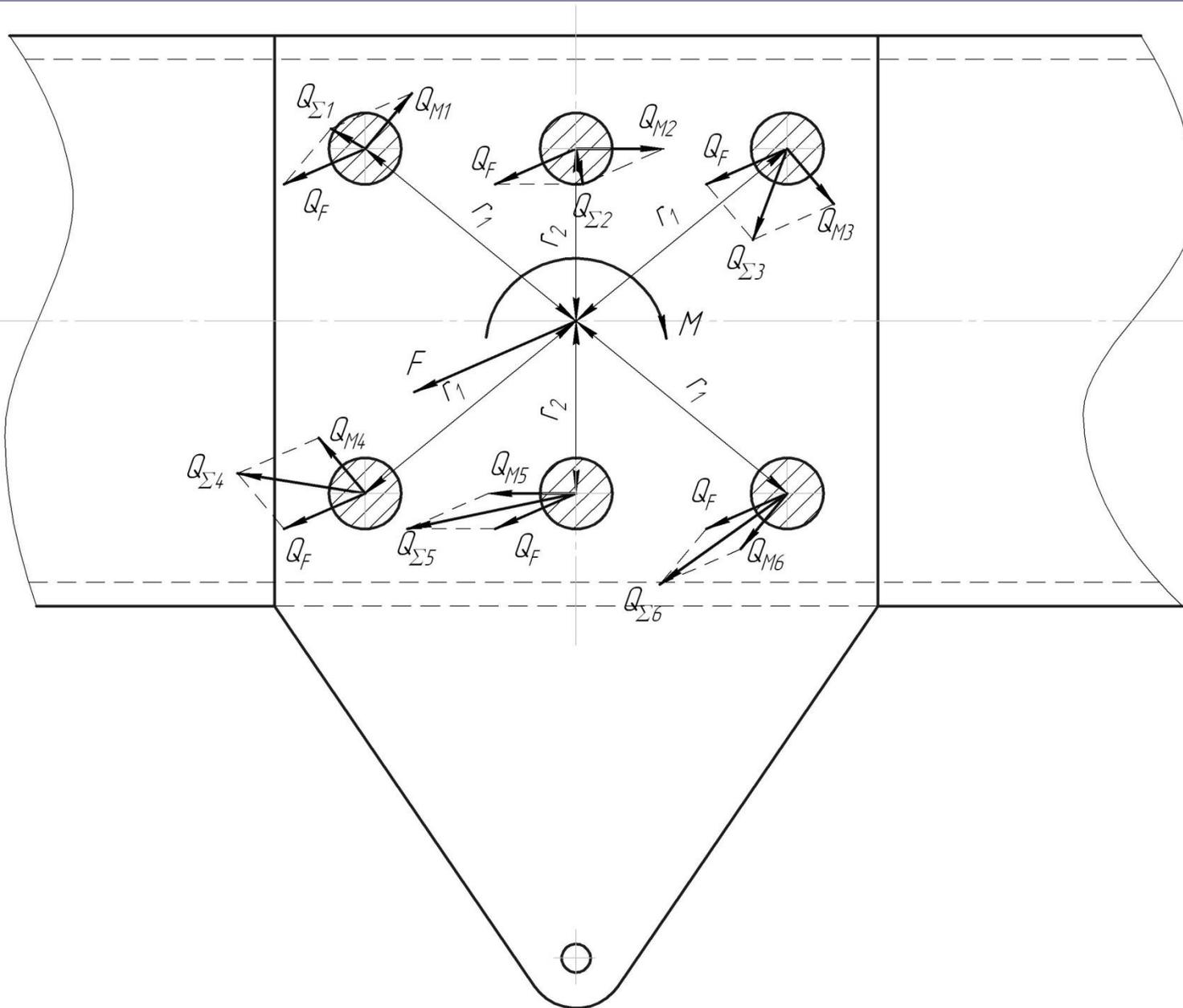
Определить максимальное напряжение растяжения σ_p в склепанных листах толщиной $\delta = 5$ мм, растягиваемых силами $F = 90$ кН. Шаг установки заклепок $p = 36$ мм, и диаметр отверстий под заклепки $d_0 = 11$ мм и их число $Z = 6$



Соединения деталей машин



Соединения деталей машин



Соединения деталей машин

$$Q_F = \frac{F}{z}, \quad Q_{Mi} = \frac{M r_i}{\sum_{i=1}^n r_i^2},$$

$$Q_{M1} = Q_{M3} = Q_{M4} = Q_{M6} = \frac{M r_1}{4r_1^2 + 2r_2^2},$$

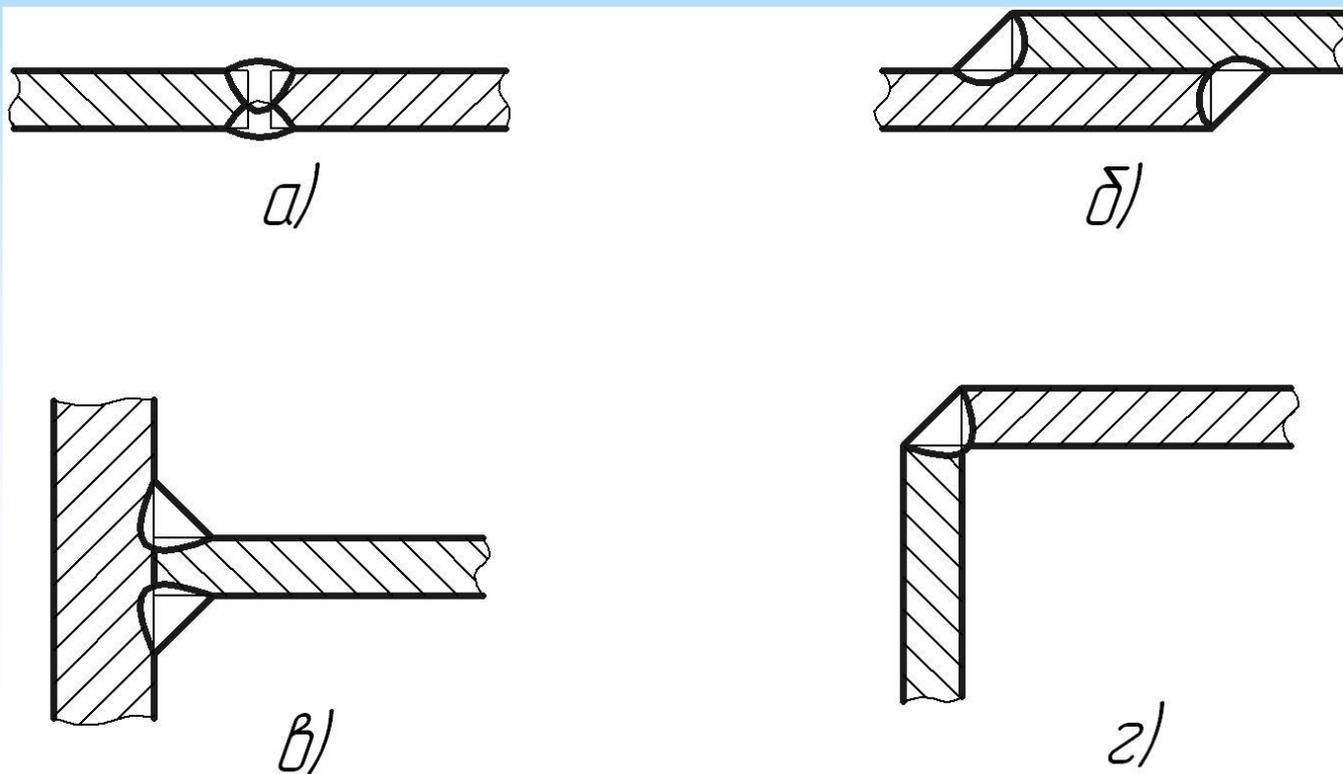
$$Q_{M2} = Q_{M5} = \frac{M r_2}{4r_1^2 + 2r_2^2},$$

$$Q_{\max} = Q_{\Sigma 6} = \sqrt{Q_F^2 + Q_{M6}^2 + 2Q_F Q_{M6} \cos \alpha}$$

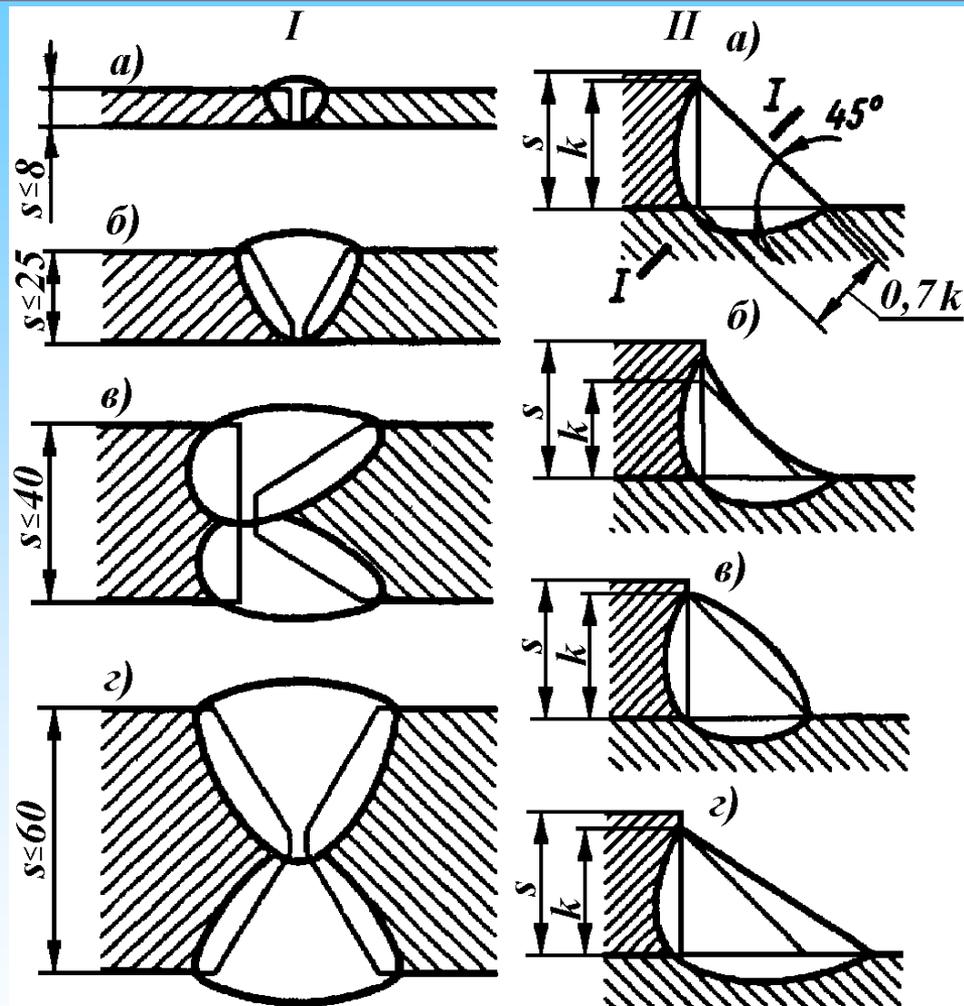
СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Виды соединений

В зависимости от расположения свариваемых деталей соединения подразделяют на *стыковые (а)*, *нахлесточные (б)*, *тавровые (в)* и *угловые (г)*.



СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

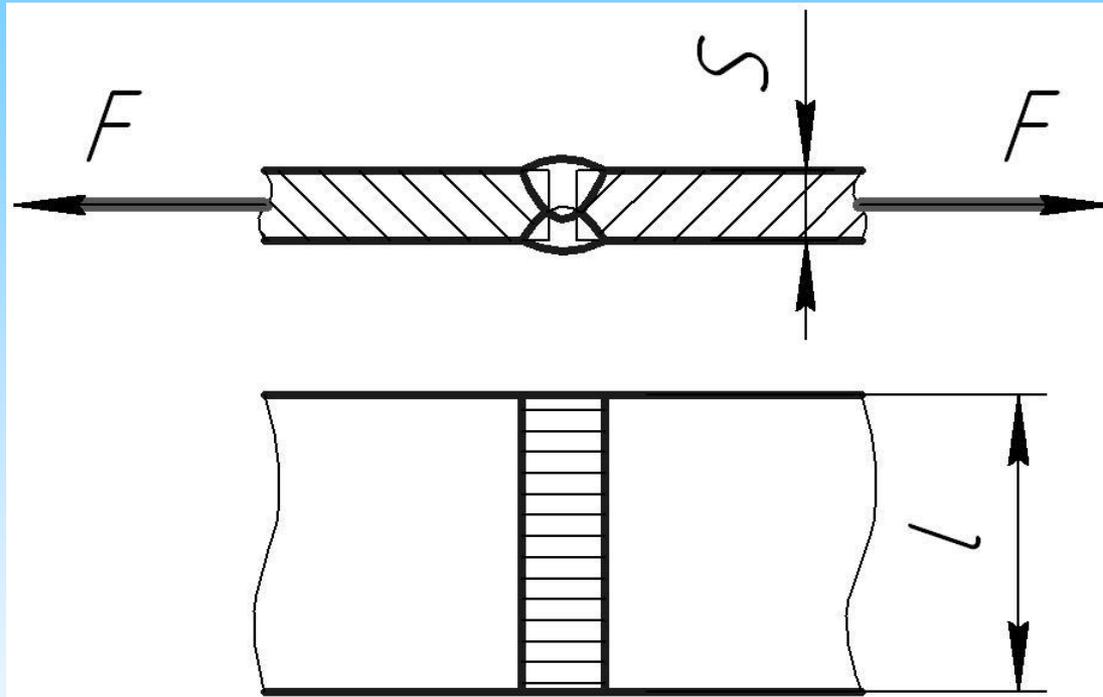


Швы сварочные:

I – стыковые II – угловые

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Стыковые швы при растяжении



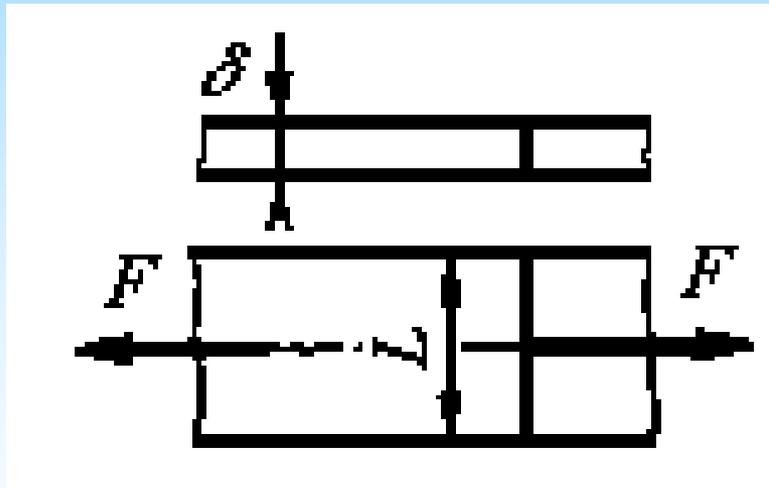
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{l S} \leq [\sigma'_p]$$

$$[\sigma'_p] = (0,9..1)[\sigma_p]$$

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

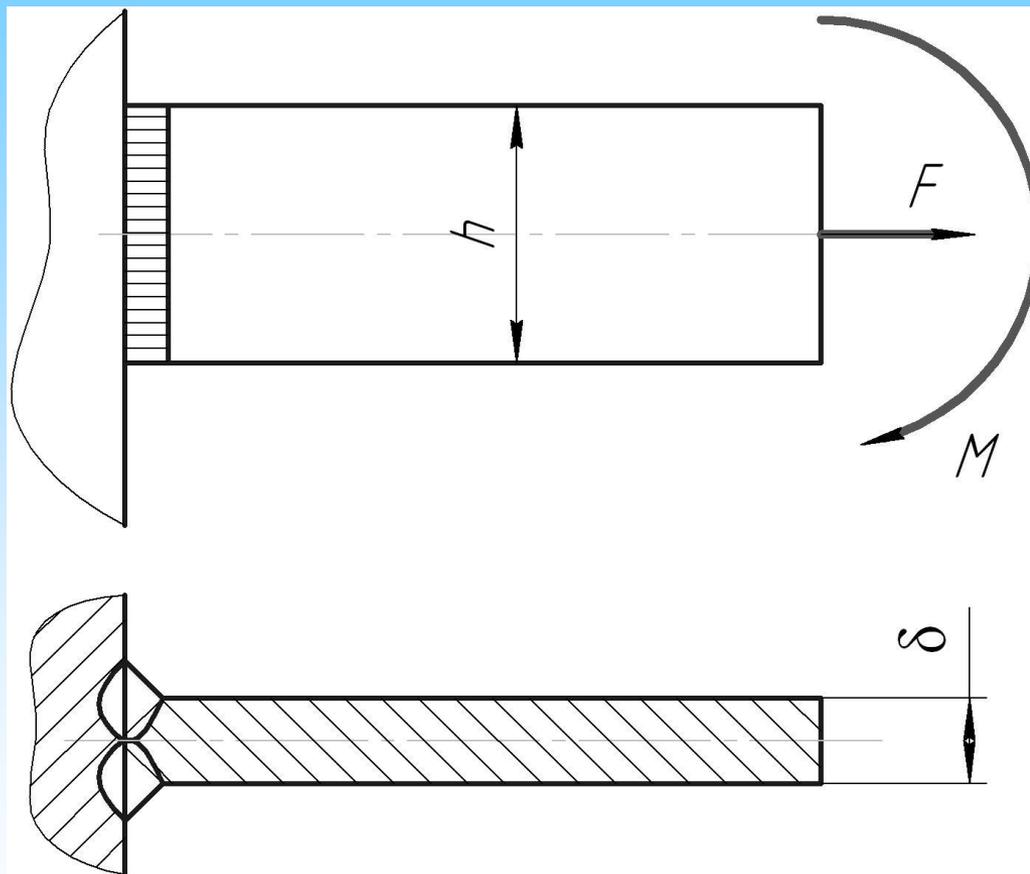
Пример:

Определите длину L стыкового сварного шва, к которому приложена нагрузка $F = 60$ кН. Толщина свариваемых деталей $\delta = 8$ мм, а допускаемое напряжение материала шва $[\sigma'_{\rho}] = 80$ МПа.



СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

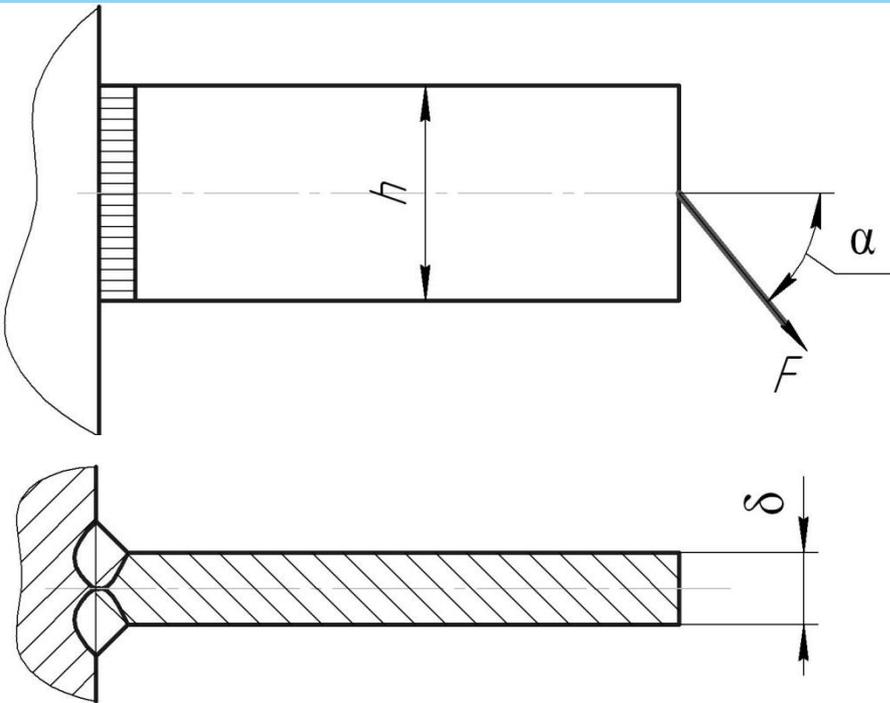
Стыковые швы при совместном действии растяжения и изгиба



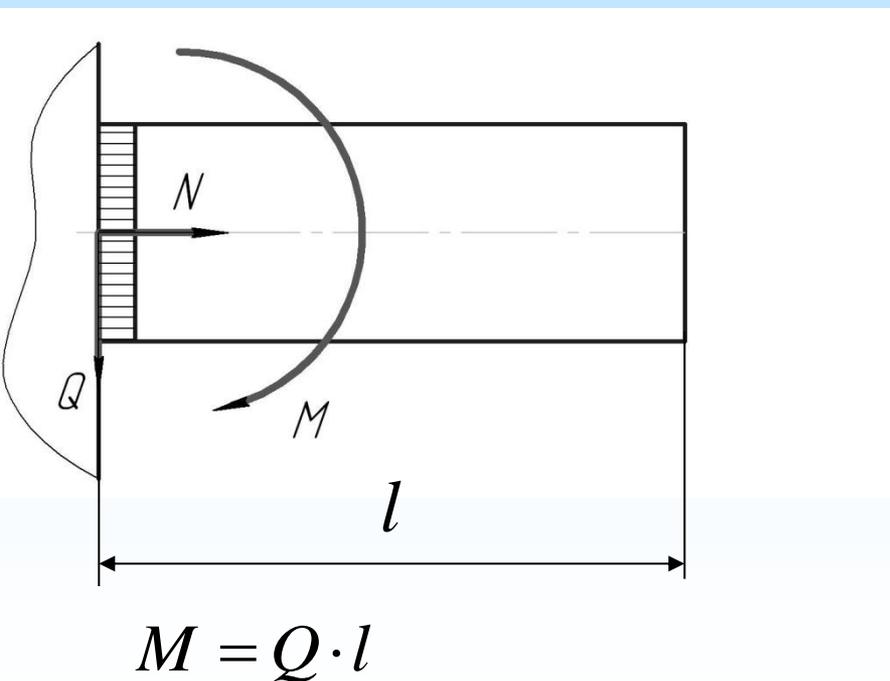
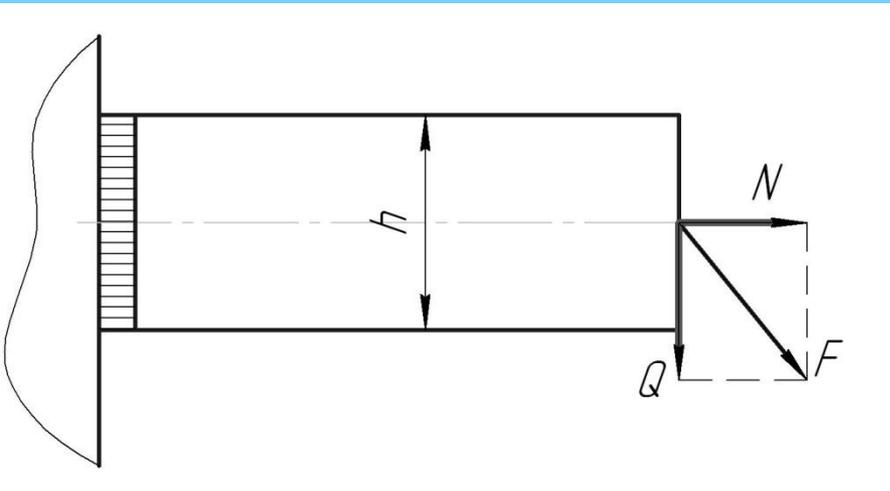
$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{W_C} = \frac{F}{\delta h} + \frac{6M}{\delta h^2} \leq [\sigma'_p]$$

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Стыковые швы при совместном действии растяжения, изгиба и среза



СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



$$\sigma = \sqrt{(\sigma_u + \sigma_p)^2 + 4\tau_{cp}^2} \leq [\sigma'_p]$$

где:

$$\sigma_u = \frac{M}{W_c} = \frac{M}{\frac{\delta h^2}{6}} = \frac{6M}{\delta h^2}$$

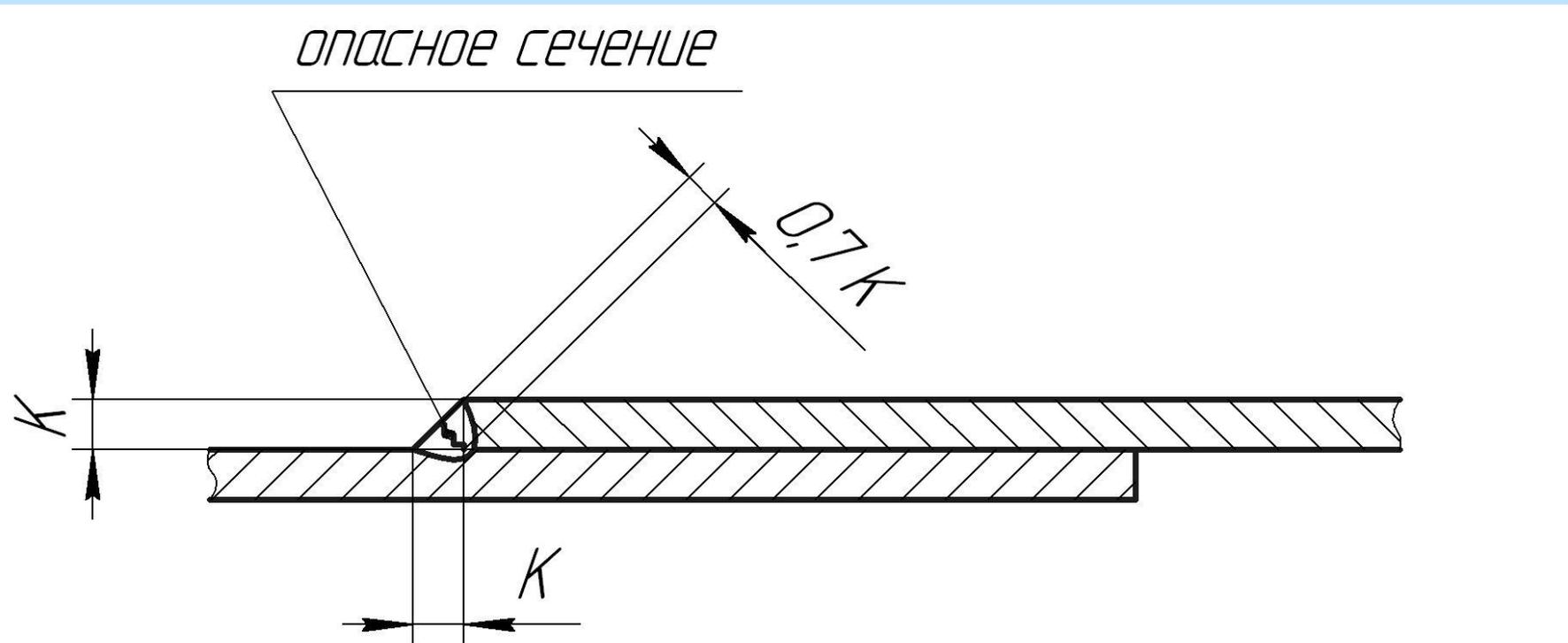
$$\sigma_p = \frac{N}{A} = \frac{N}{\delta h}$$

$$\tau_{cp} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\delta h}$$

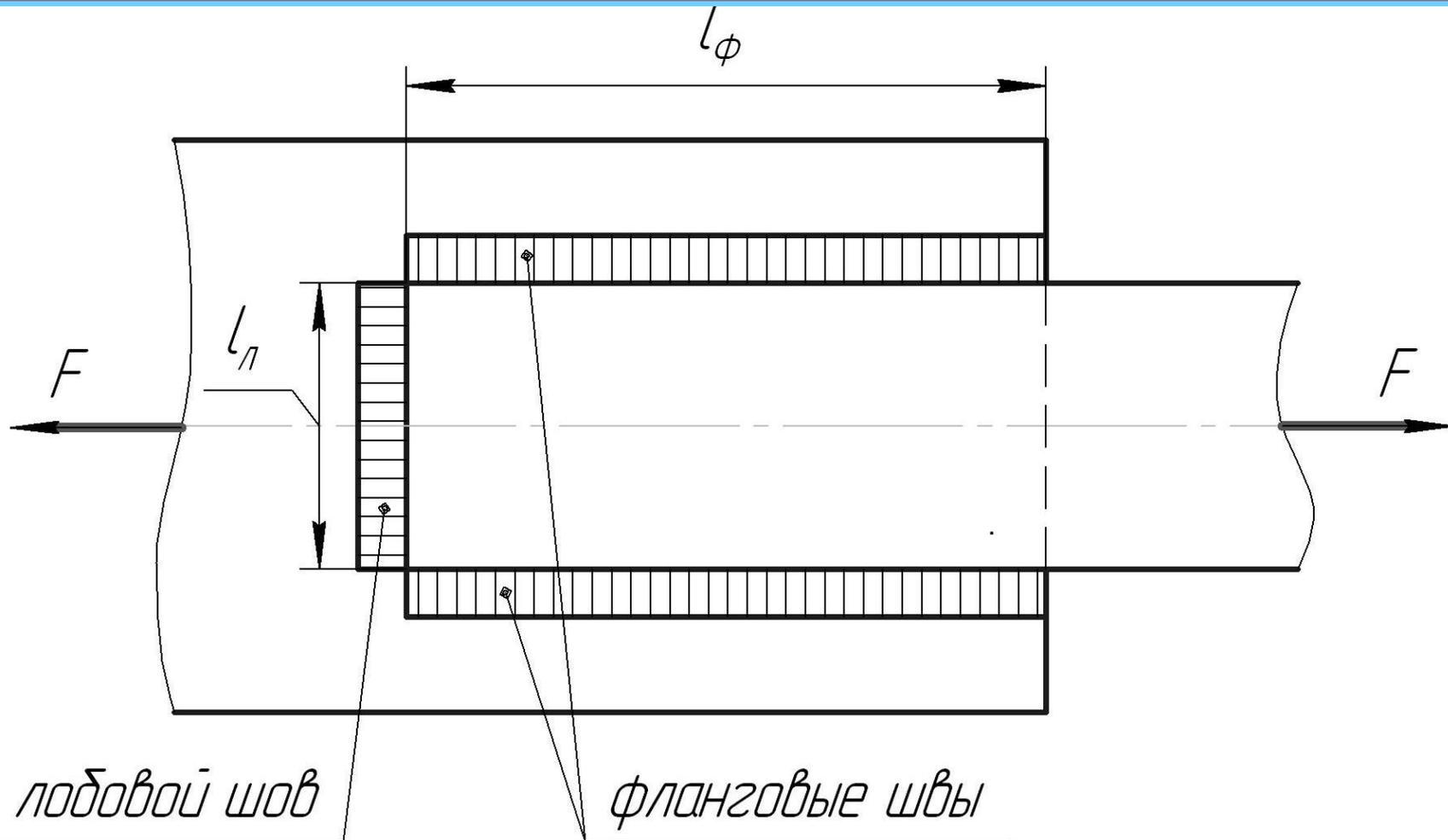
СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Угловые швы

Основными геометрическими характеристиками углового шва являются: катет шва K и длина шва L . Величина катета K в большинстве случаев равна толщине привариваемой детали $K=S$



СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



При проектировании сварного соединения рекомендуется задавать длину фланговых швов в пределах $30 \text{ мм} \leq L_{\phi} \leq 60 K$

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Условие прочности при срезе

$$\tau = \frac{F}{A} \leq [\tau_{ср}]$$

площадь шва в опасном сечении равна

$$A = L_{общ} K \cos 45^\circ = (2L_\Phi + L_\Lambda) 0,7 K$$

Получаем

$$\tau = \frac{F}{(2L_\Phi + L_\Lambda) 0,7 K} \leq [\tau_{ср}]$$

При проектном расчете находят требуемую длину шва

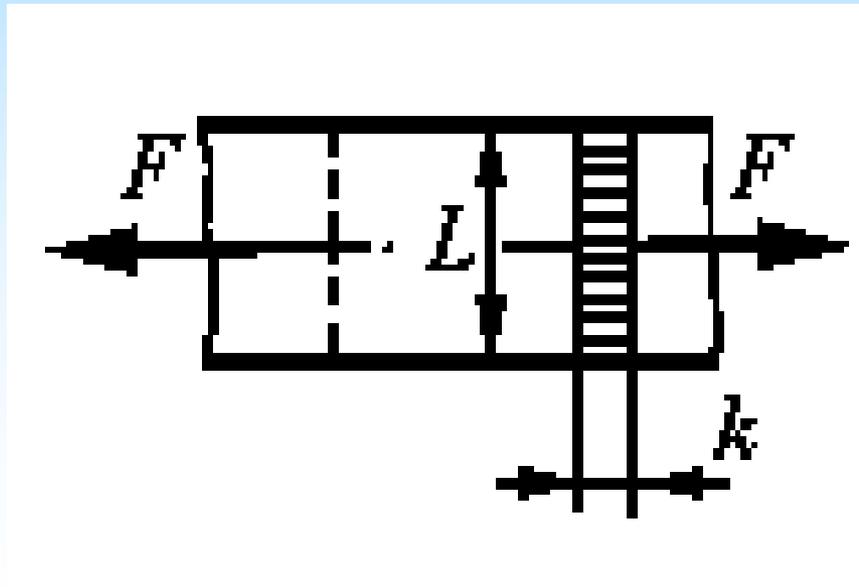
$$L_{общ} = \frac{F}{0,7 K [\tau_{ср}]}$$

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Пример:

Определить напряжения среза τ'_{CP} , в лобовом шве сварного соединения, нагруженного силой $F = 12$ кН, при этом длина шва $L = 60$ мм и катет $k = 6$ мм.

- А $\tau'_{CP} \approx 35$ МПа;
- Б $\tau'_{CP} \approx 41$;
- В $\tau'_{CP} \approx 53$ МПа;
- Г $\tau'_{CP} \approx 48$ МПа.

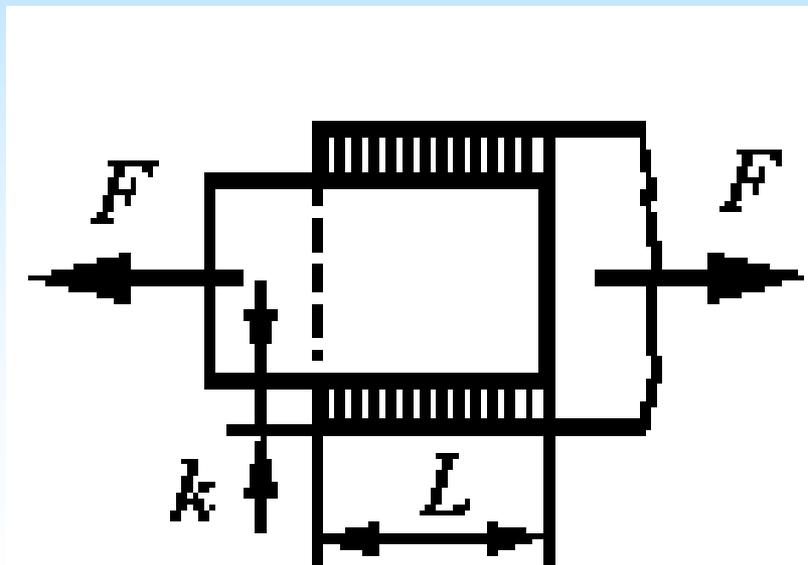


СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Пример:

Определить длину L фланговых швов сварного соединения, если нагрузка $F = 120$ кН, катет шва $k = 8$ мм и допускаемое напряжение $[\tau'_{CP}] = 80$ МПа материала шва.

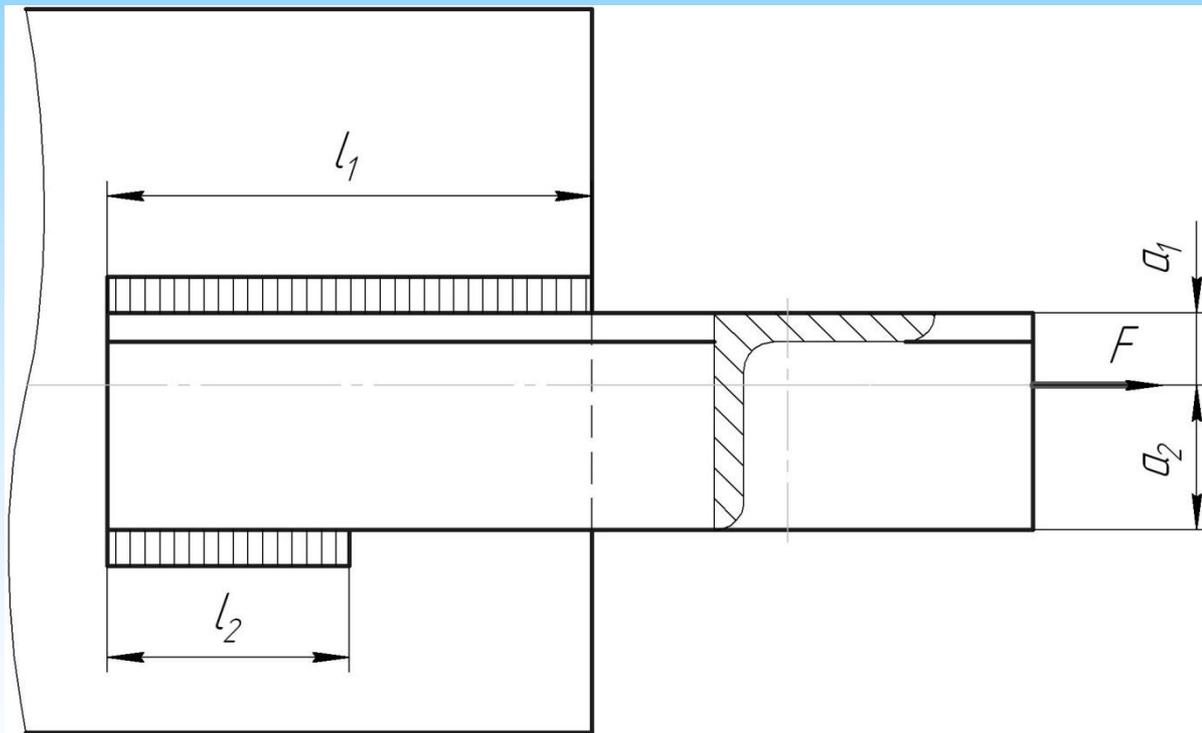
- А $L \approx 120$ мм;
- Б $L \approx 105$ мм;
- В $L \approx 80$ мм;
- Г $L \approx 135$ мм.



СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Швы рекомендуется располагать так, чтобы они были нагружены равномерно.

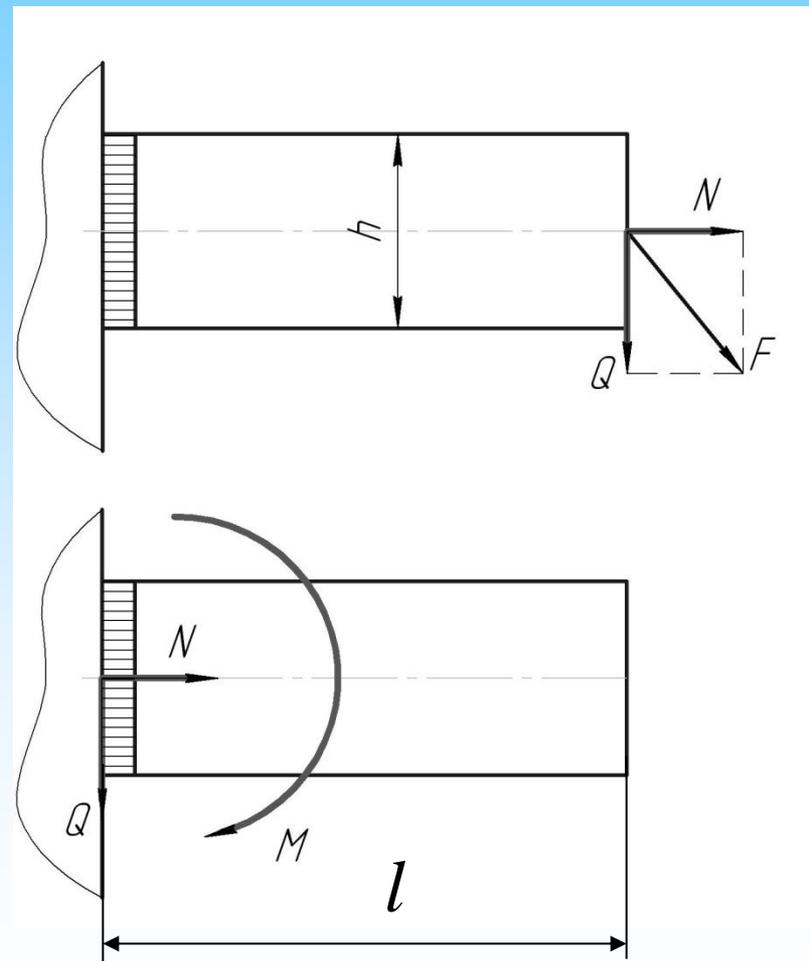
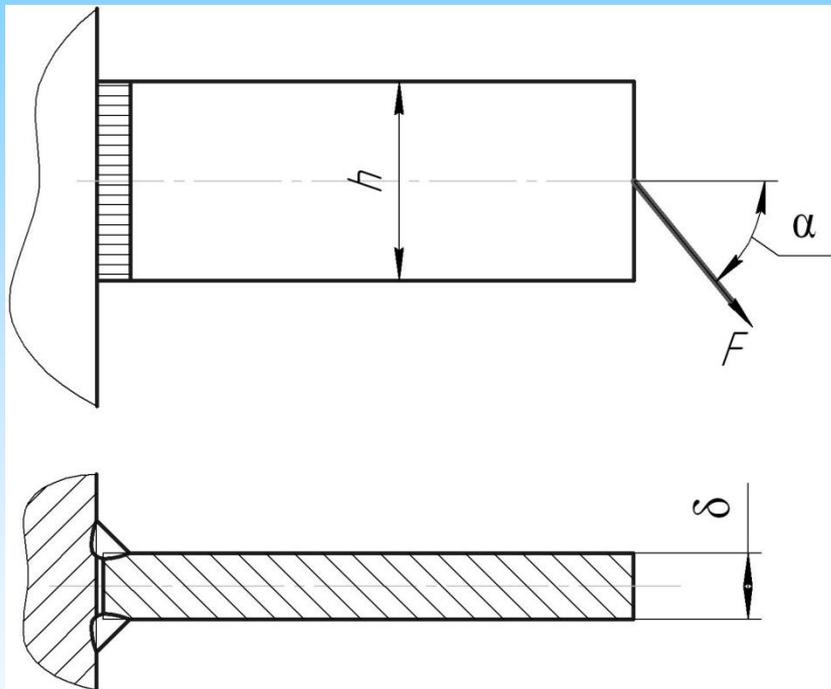
Особенности приварки уголков:



$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{a_2}{a_1} \Rightarrow L_1 = L_{\text{общ}} \frac{a_2}{a_1 + a_2} \approx L_{\text{общ}} \frac{2}{3}, \quad L_2 = L_{\text{общ}} \frac{a_1}{a_1 + a_2} \approx L_{\text{общ}} \frac{1}{3}.$$

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Угловые швы при совместном действии растяжения, изгиба и среза



$$M = Q \cdot l$$

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Условие прочности:

$$\tau_{ср\Sigma} = \sqrt{\left(\tau_{ср(M)} + \tau_{ср(N)}\right)^2 + \tau_{ср(Q)}^2} \leq \left[\tau'_{ср}\right]$$

где

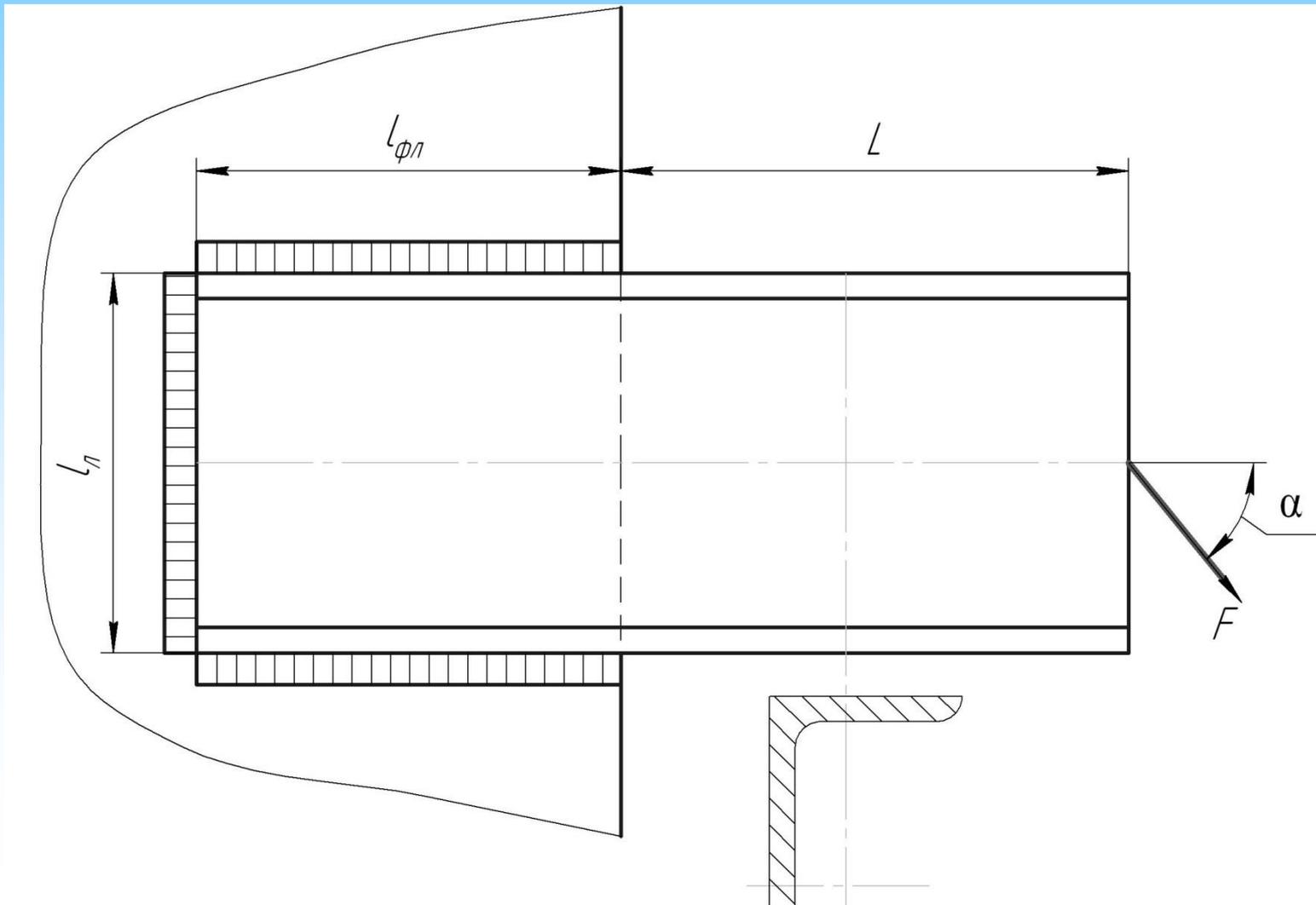
$$\tau_{ср(M)} = \frac{M}{2 W_c} = \frac{M}{2 \frac{\beta K h^2}{6}} = \frac{3 M}{\beta K h^2}$$

$$\tau_{ср(N)} = \frac{N}{2 A} = \frac{N}{2 \beta K h}$$

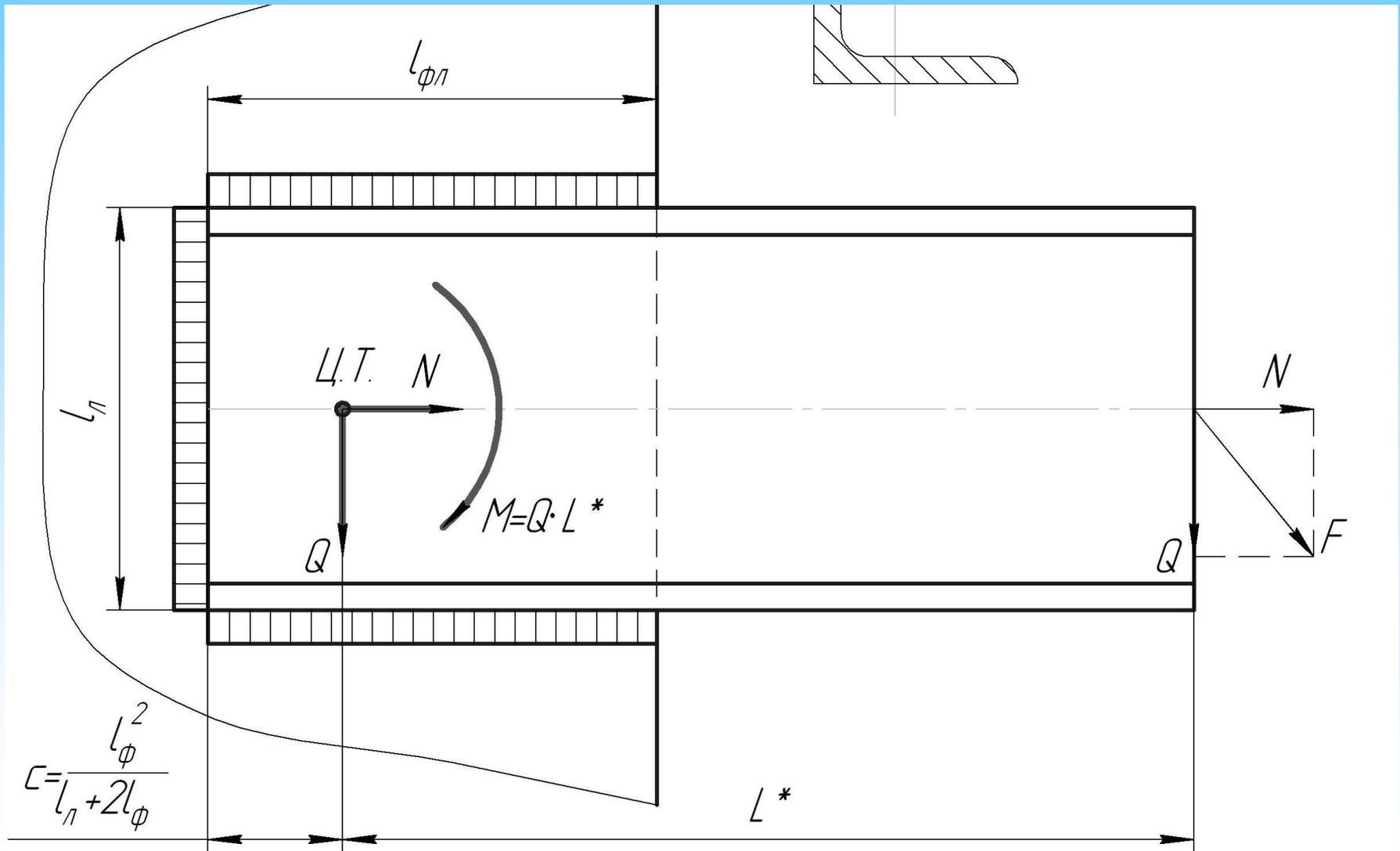
$$\tau_{ср(Q)} = \frac{Q}{2 A} = \frac{Q}{2 \beta K h}$$

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Комбинированные угловые под действием внешних нагрузок в плоскости стыка



СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ



СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Условие прочности:

$$\tau_{ср\Sigma} = \sqrt{\left(\tau_{ср(M)} + \tau_{ср(N)}\right)^2 + \tau_{ср(Q)}^2} \leq \left[\tau'_{ср}\right]$$

где

$$\tau_{ср(N)} = \frac{N}{A} = \frac{N}{\beta K L_{общ}}$$

$$\tau_{ср(Q)} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\beta K L_{общ}}$$

$$\tau_{ср(M)} = \frac{M}{W_C} = \frac{M \cdot y_{\max}}{J_C}$$