

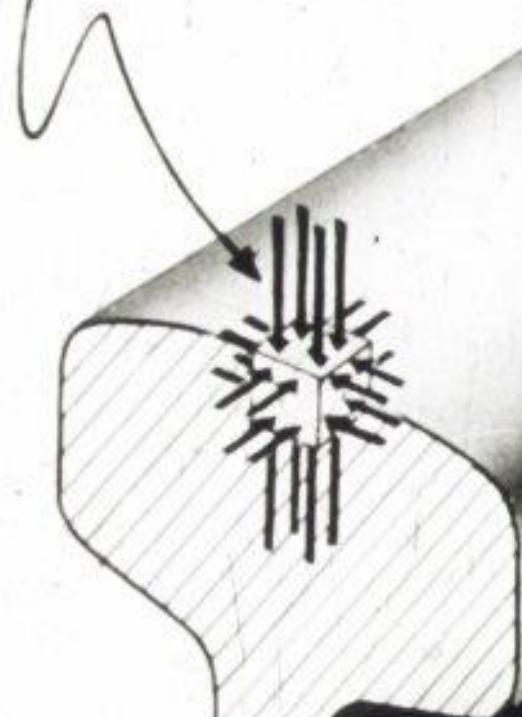
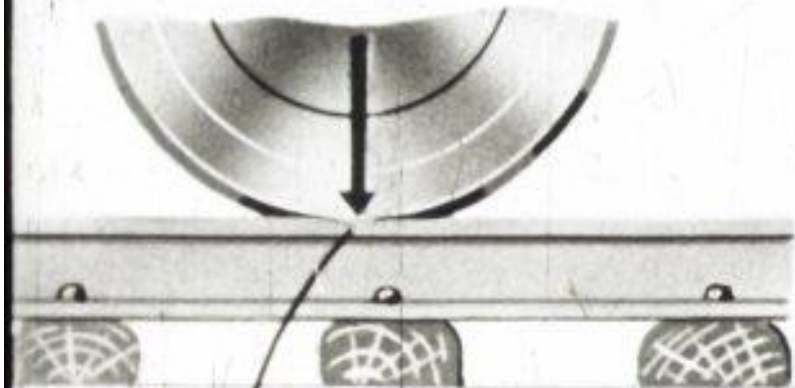
## Часть вторая:

Смятие

Сдвиг

Кручение

# Местное смятие головки рельса ободом колеса

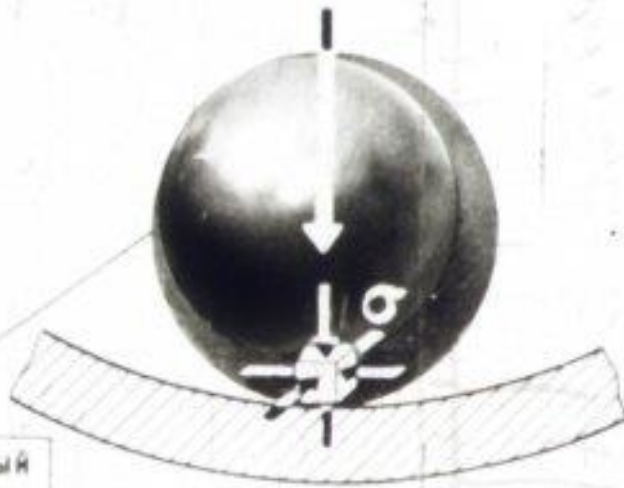


Местное смятие вызывается давлением, передающимся через небольшую площадь.  
Материал испытывает сжатие по трем направлениям.

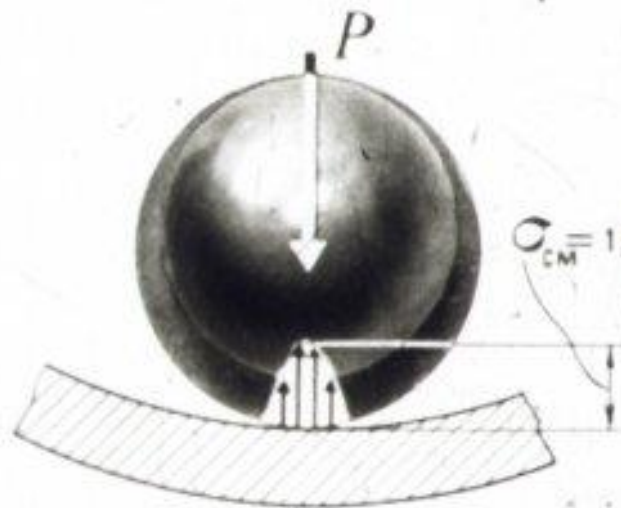
# Местное смятие шарика в радиальном шарикоподшипнике



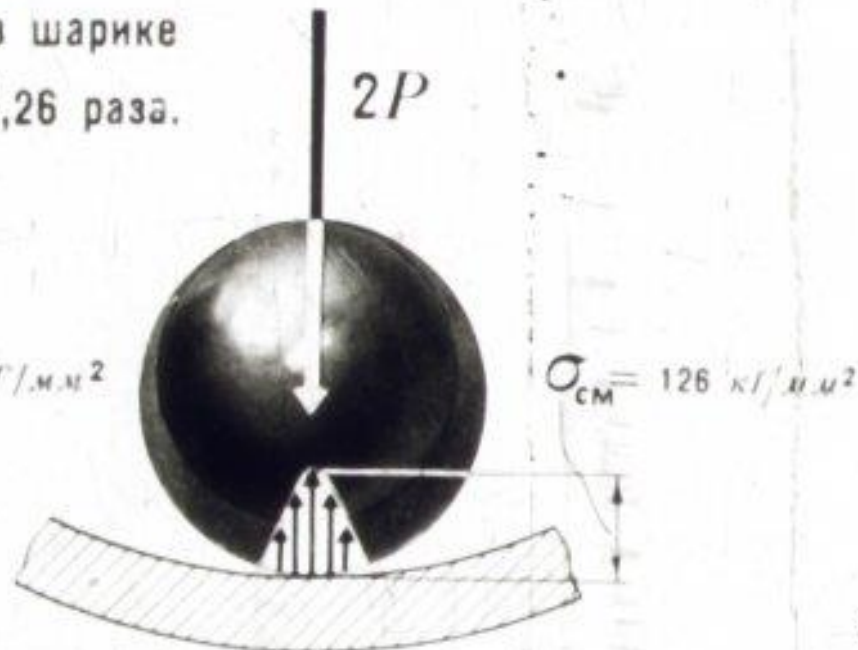
Наиболее нагруженный шарик



Если увеличить нагрузку на подшипник вдвое, то сминающее напряжение в шарике увеличивается в  $\sqrt[3]{2} = 1,26$  раза.

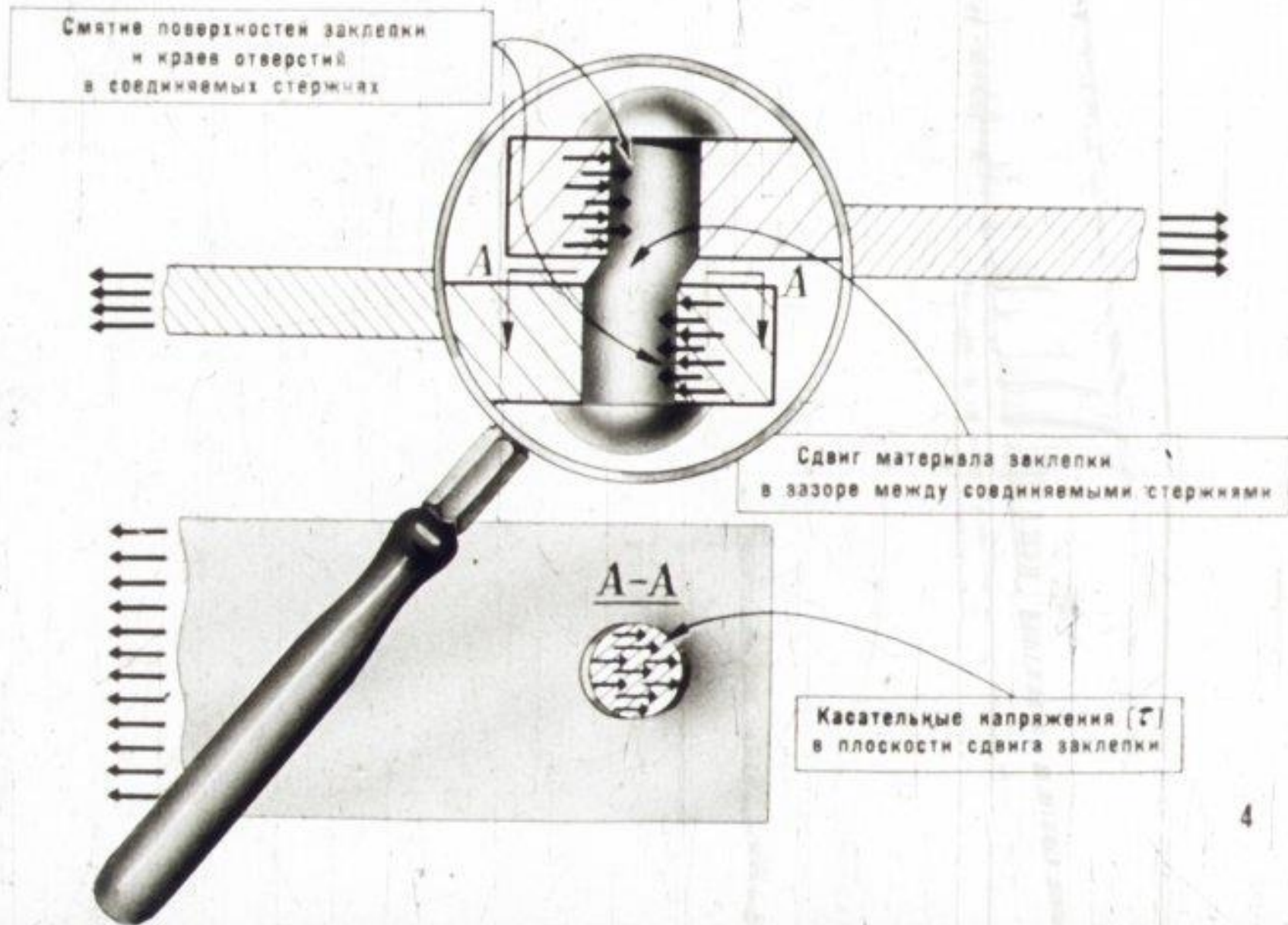


$$\sigma_{см} = 100 \text{ кг/мм}^2$$

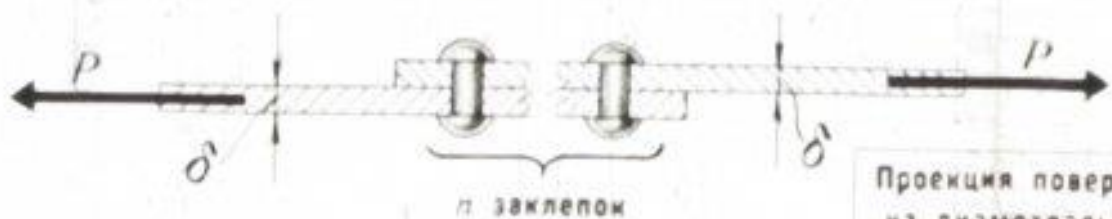
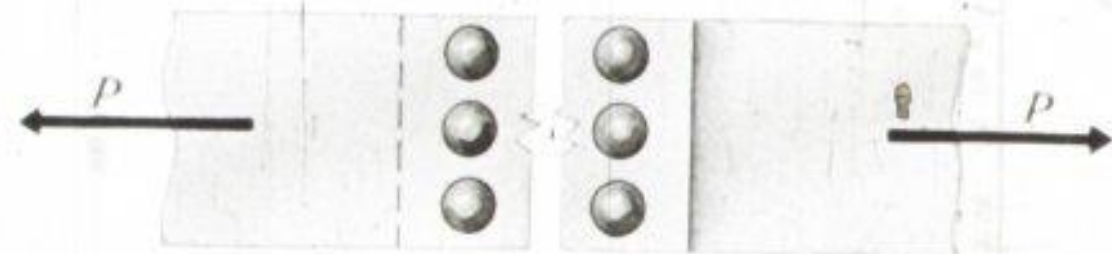


$$\sigma_{см} = 126 \text{ кг/мм}^2$$

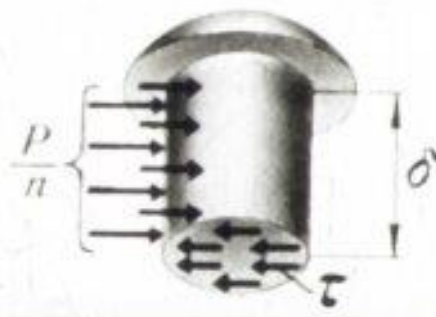
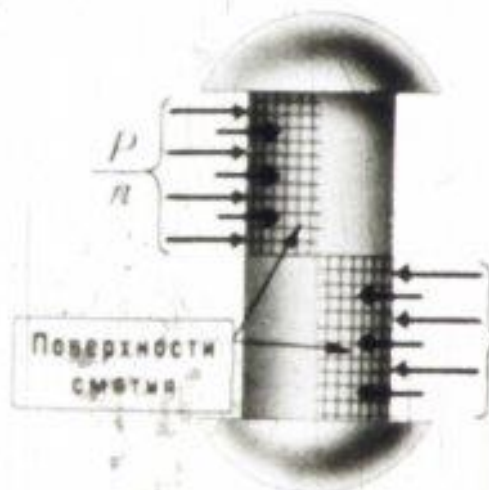
# Смятие и сдвиг в заклепочном соединении



# Расчет сдвигающих и сминающих напряжений в „односрезной“ заклепке

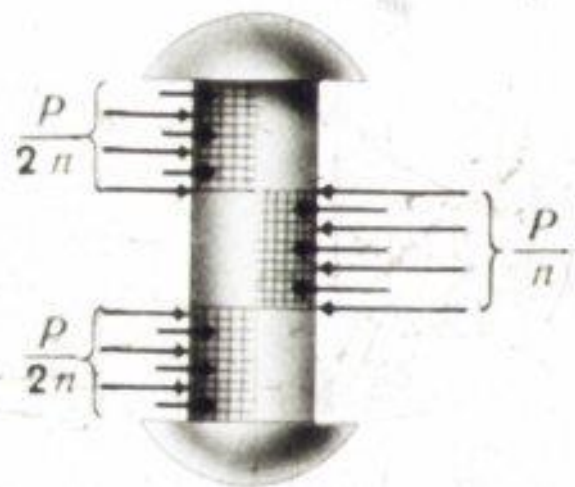
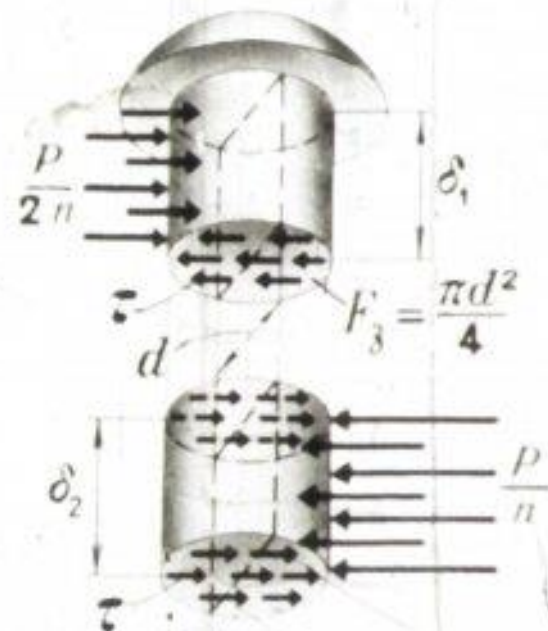
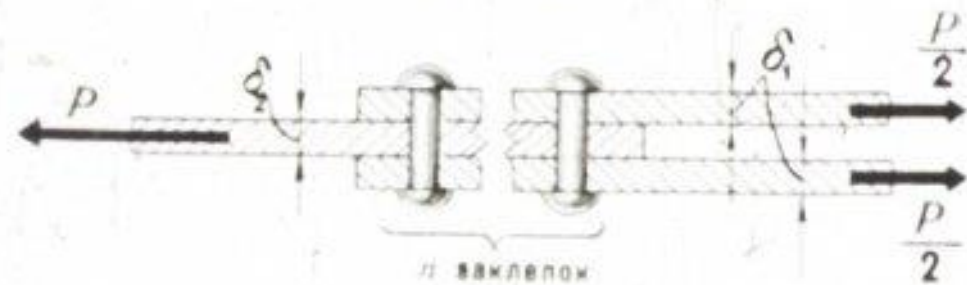
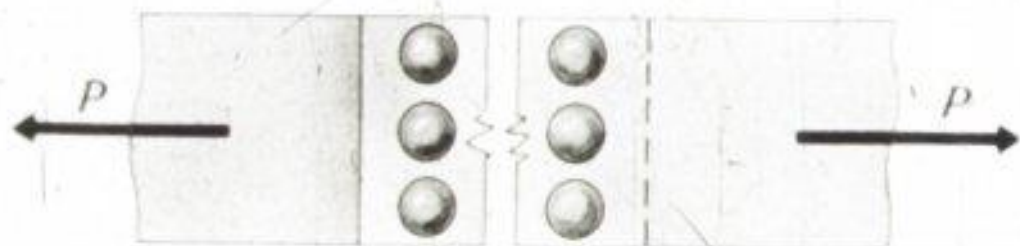


Проекция поверхности смятия на диаметральный плоскость



$$F_s = \frac{\pi d^2}{4}; \quad \tau = \frac{P}{n F_s}; \quad \sigma_{см} = \frac{P}{n d \delta}.$$

# Расчет сдвигающих и сминающих напряжений в „двухсрезной“ заклепке

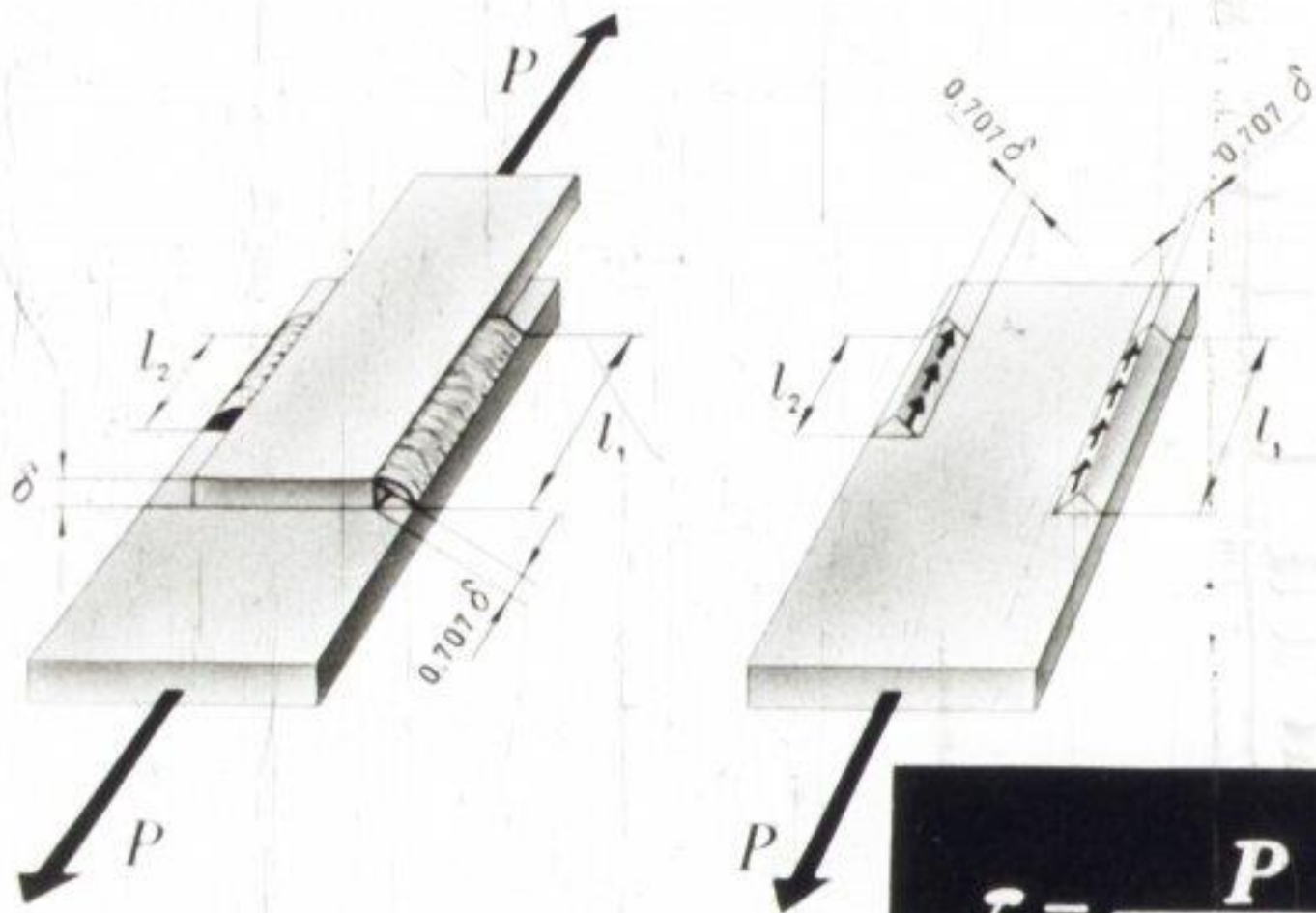


$$\tau = \frac{P}{2nF_3} ;$$

$$\sigma_{см1} = \frac{P}{2nd\delta_1} ;$$

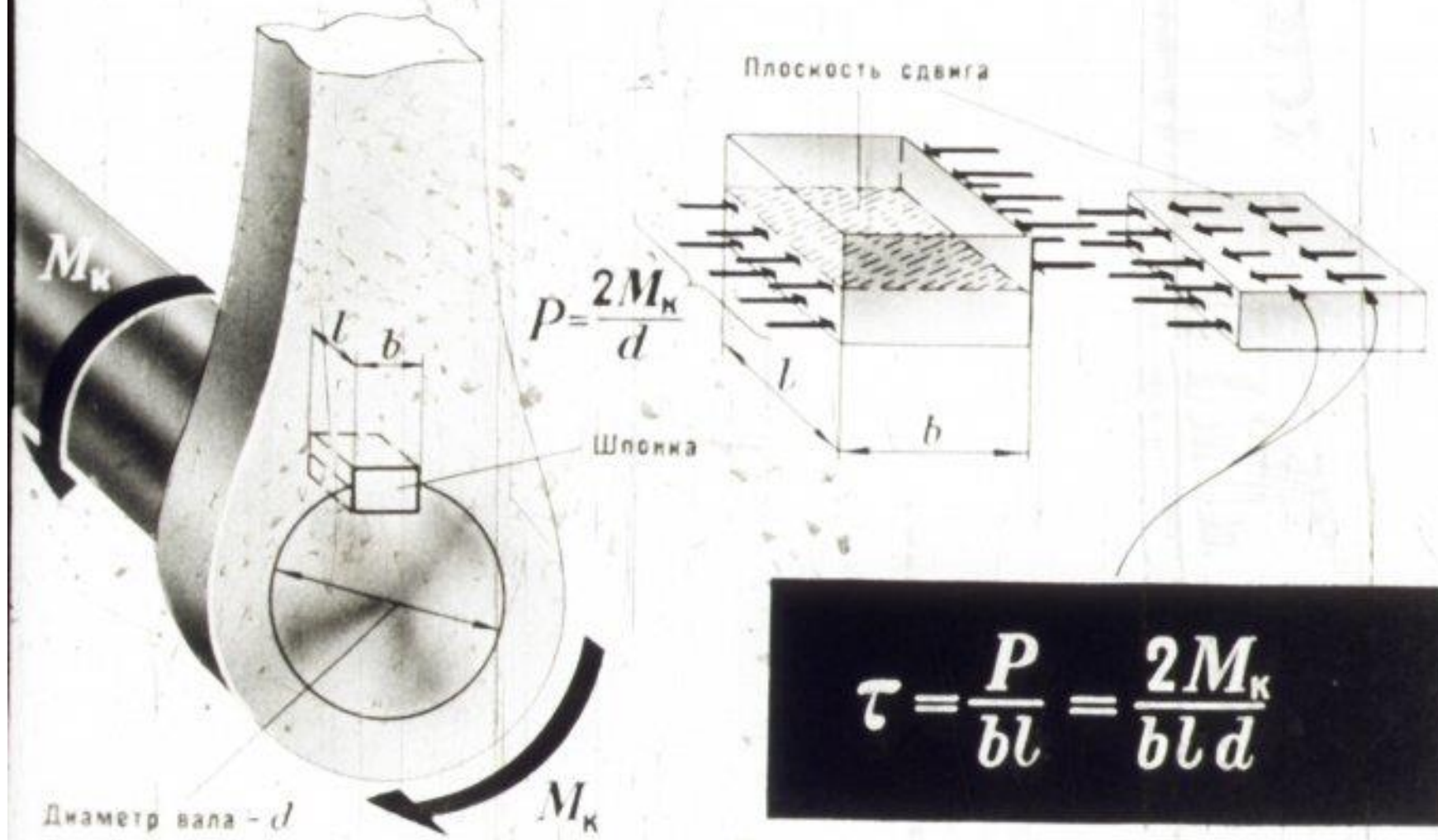
$$\sigma_{см2} = \frac{P}{nd\delta_2} .$$

Расчет касательных напряжений в сварном фланговом шве



$$\tau = \frac{P}{0.707\delta(l_1+l_2)}$$

# Расчет касательных напряжений в шпонке

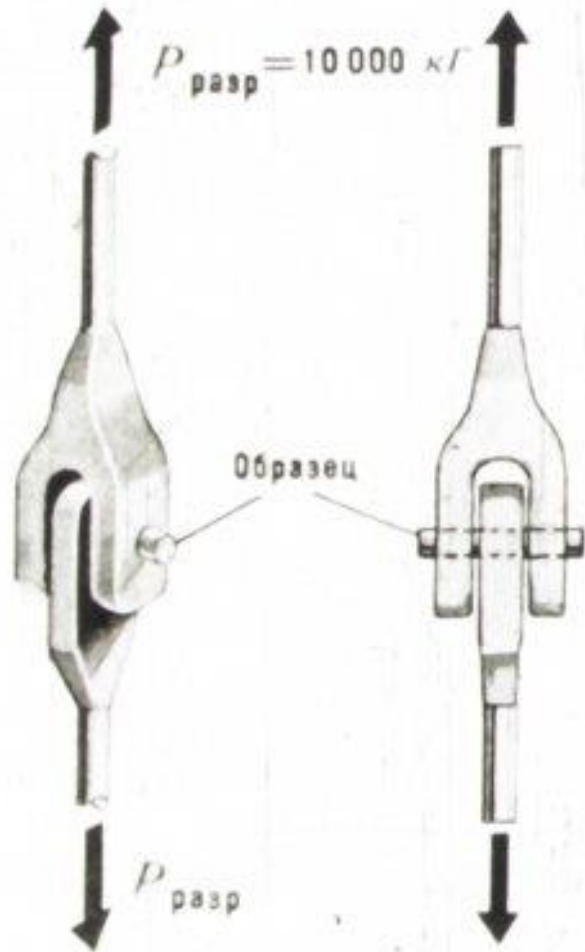


$$\tau = \frac{P}{bl} = \frac{2M_k}{bl d}$$



Определение разрушающего  $\tau_{\text{разр}}$  и допускаемого  $[\tau]$   
касательных напряжений для стали

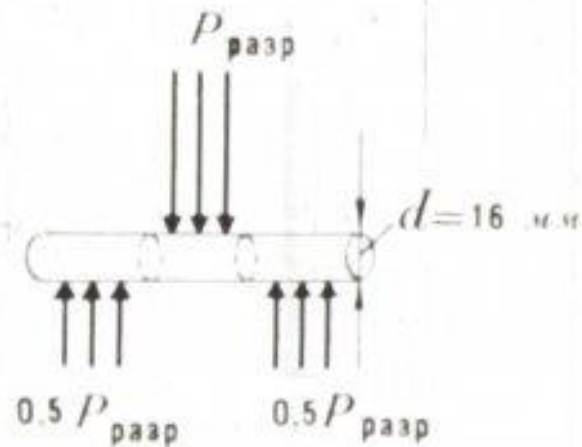
Испытание на двойной срез



$$\tau_{\text{разр}} = \frac{P_{\text{разр}}}{2 \frac{\pi d^2}{4}} = 2500 \text{ кг/см}^2;$$

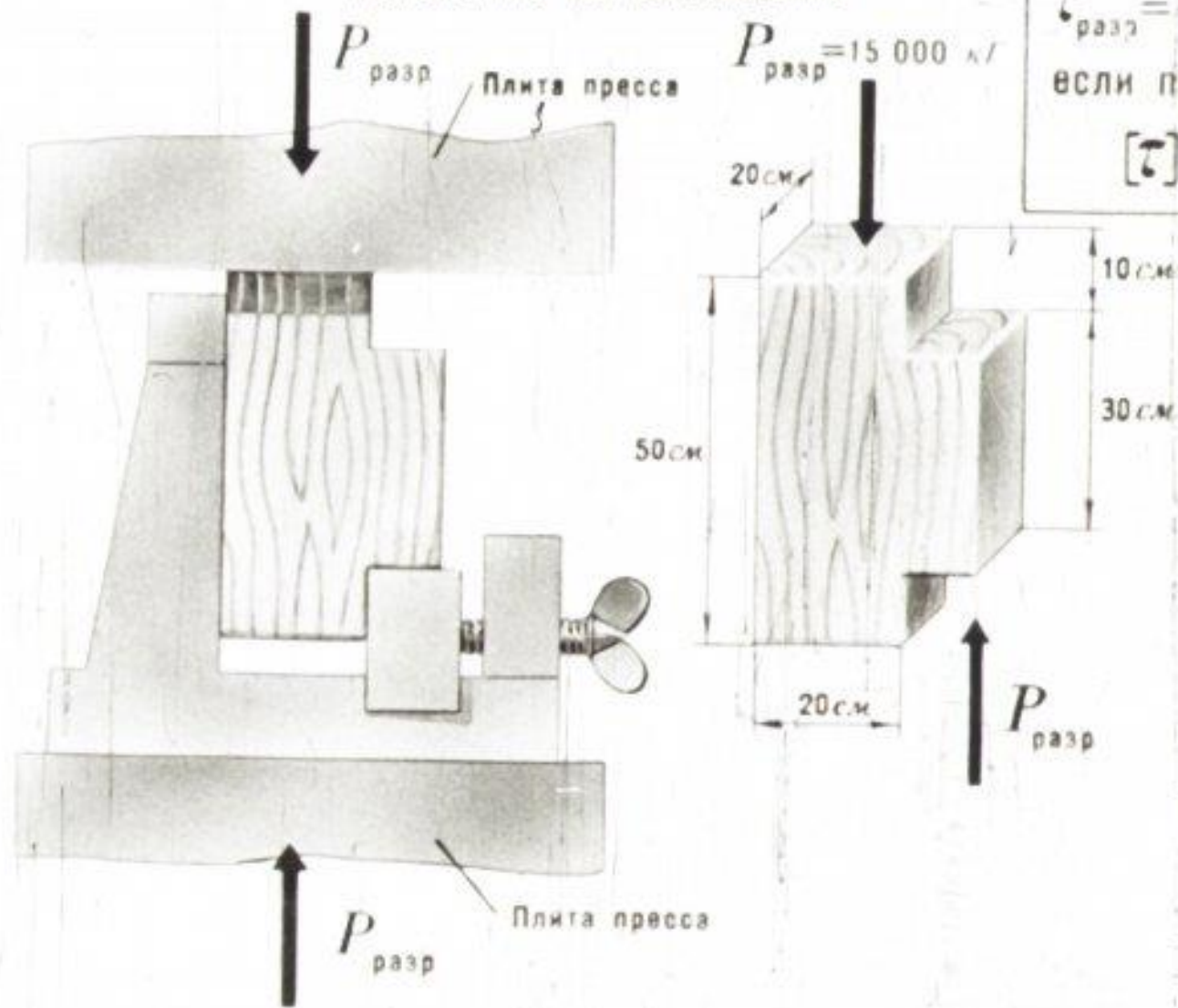
если принять  $K=2,5$ , то

$$[\tau] = \frac{2500}{2,5} = 1000 \text{ кг/см}^2.$$



# Определение разрушающего и допускаемого касательных напряжений для дерева

Испытание на скалывание

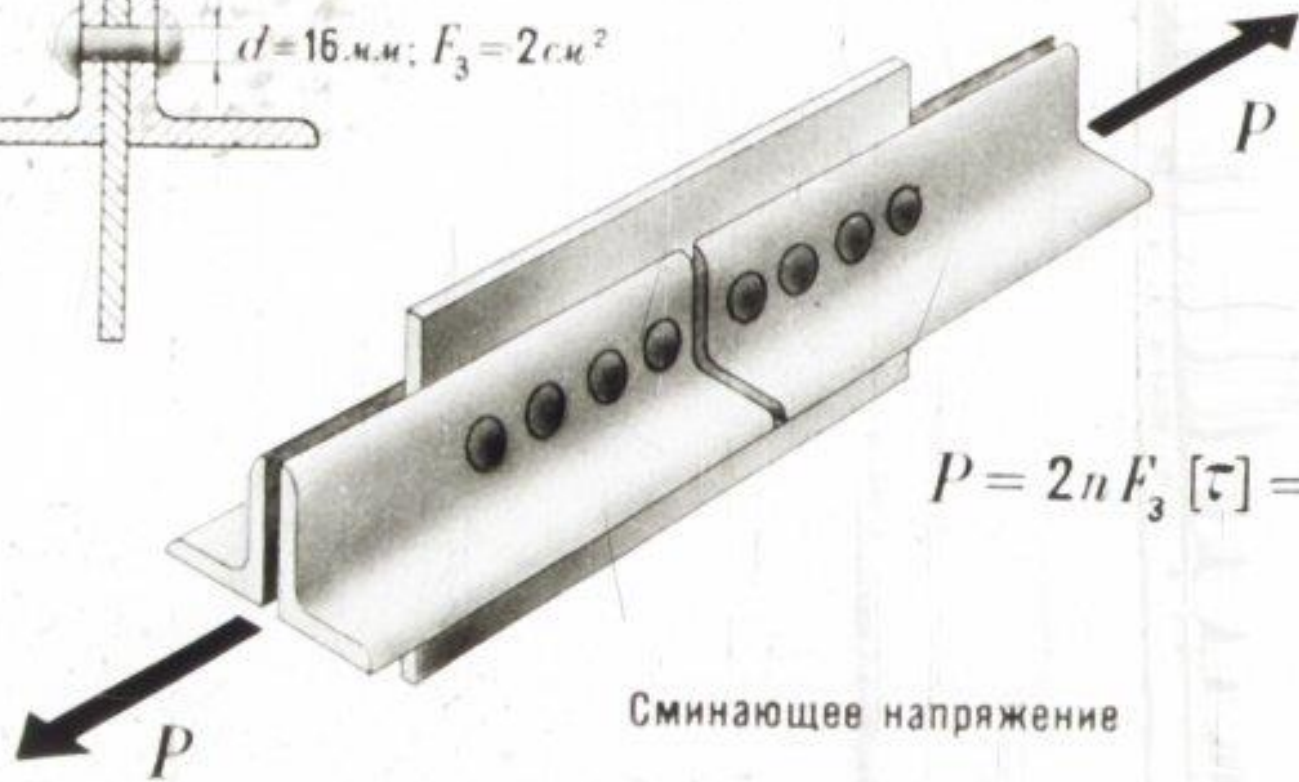
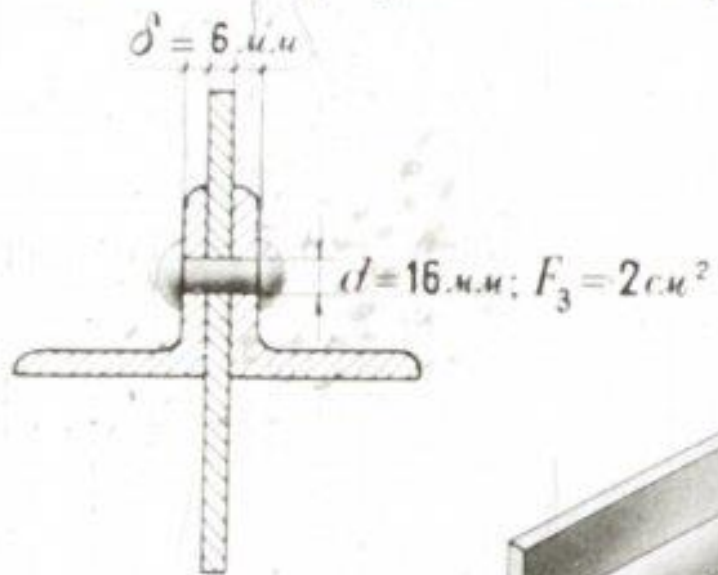


$$\tau_{\text{разр}} = \frac{15\ 000}{20 \cdot 30} = 25\ \text{кг/см}^2;$$

если принять  $K = 2,5$ , то

$$[\tau] = \frac{25}{2,5} = 10\ \text{кг/см}^2.$$

Расчет допускаемой нагрузки на заклепочное соединение

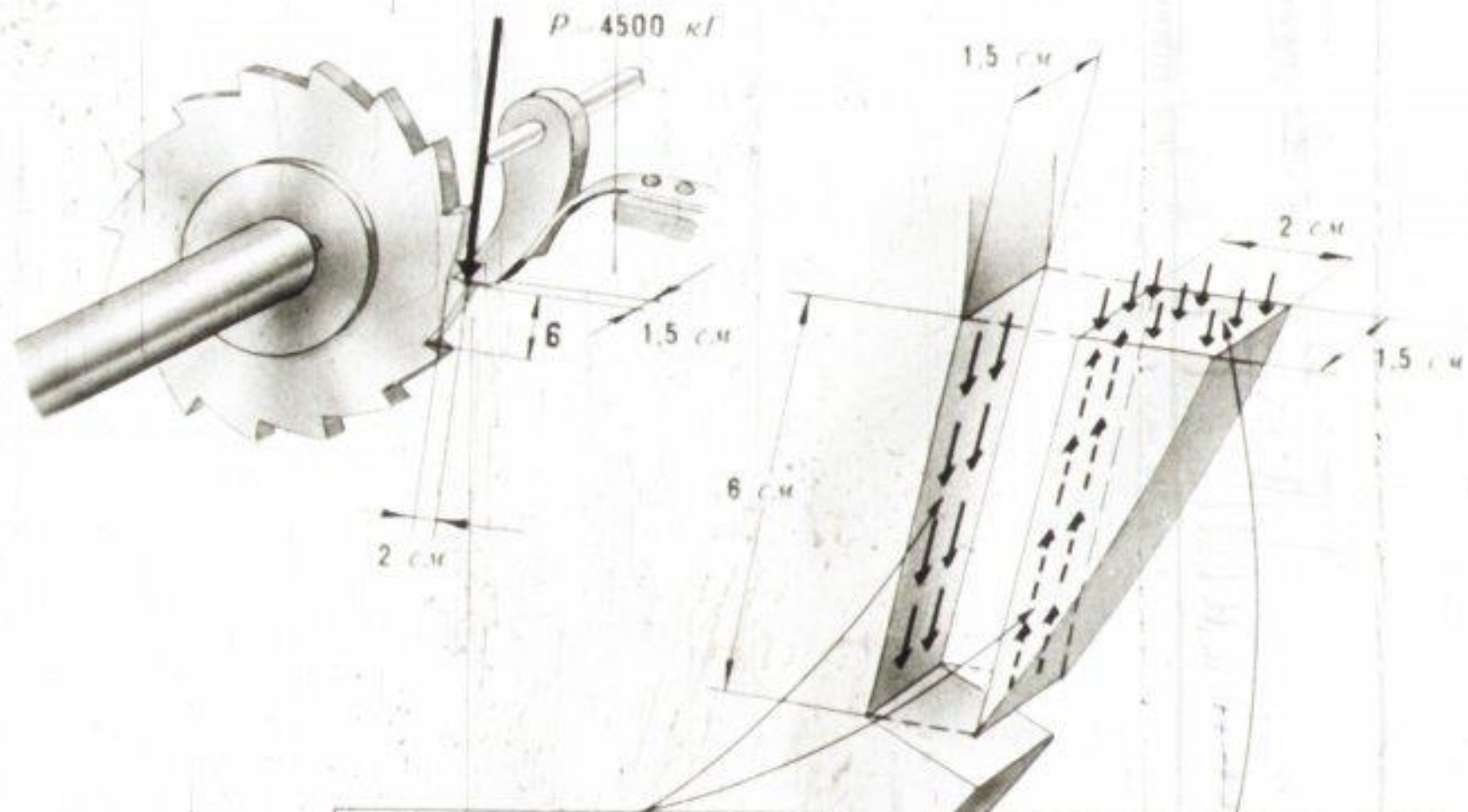


$$P = 2nF_3 [\tau] = 1600 \text{ кг}$$

Сминающее напряжение

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{P}{2nd\delta} = 2080 \text{ кг/см}^2.$$

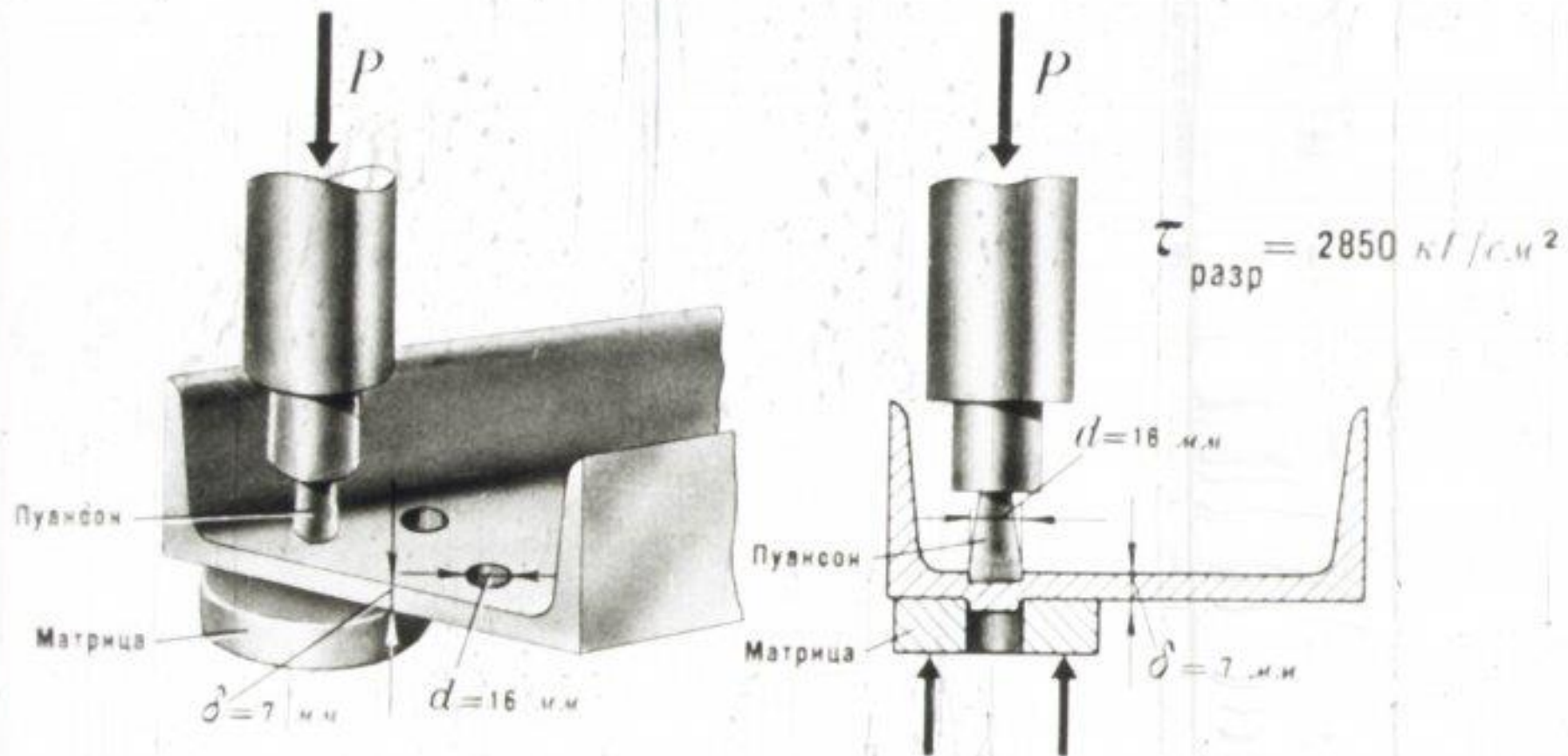
# Смятие и сдвиг в зубце храповика



$$\tau = \frac{4500}{1.5 \cdot 6} = 500 \text{ кг/см}^2$$

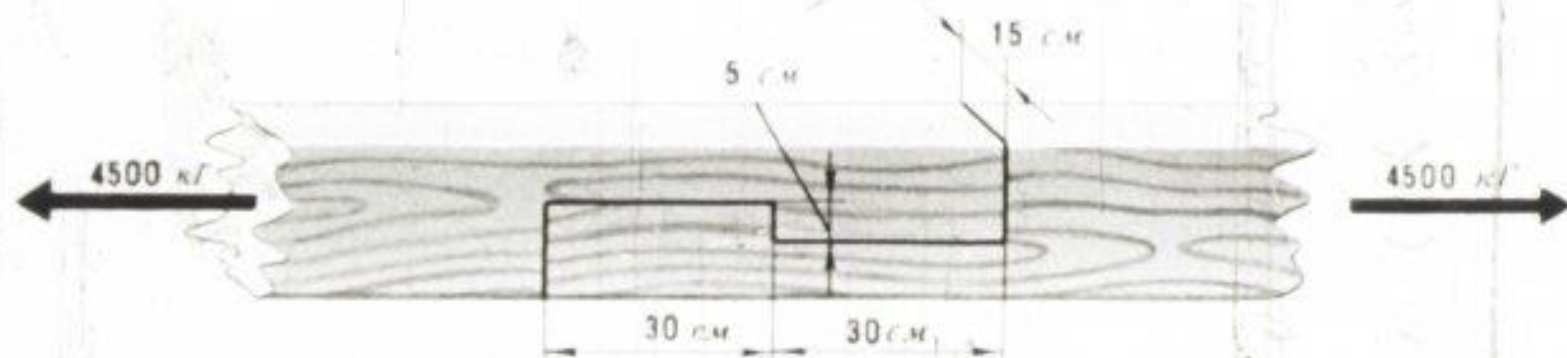
$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4500}{1.5 \cdot 2} = 1500 \text{ кг/см}^2$$

# Расчет силы, необходимой для продавливания отверстия

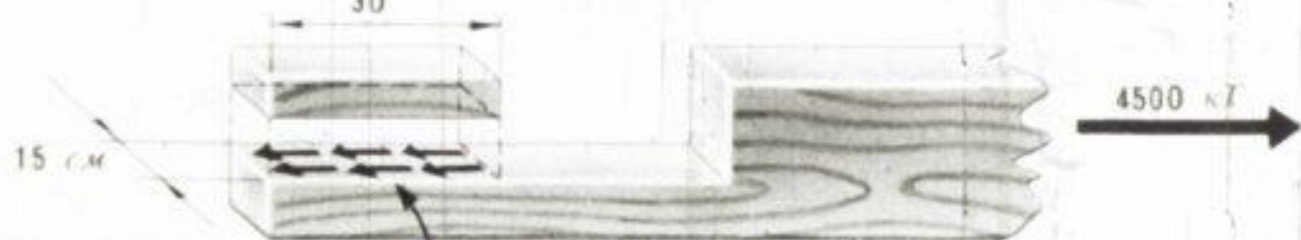
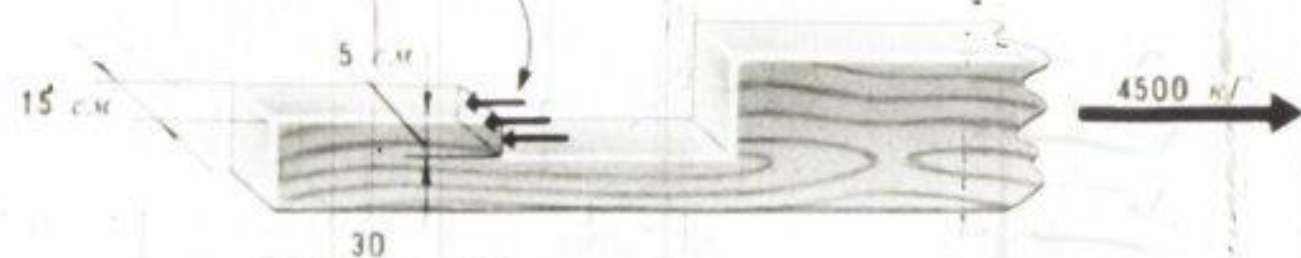


$$P = \tau_{\text{разр}} \pi d \delta = 10000 \text{ кг}$$

Расчет сминающего и скалывающего напряжений  
в соединении деревянного бруса „зубом“

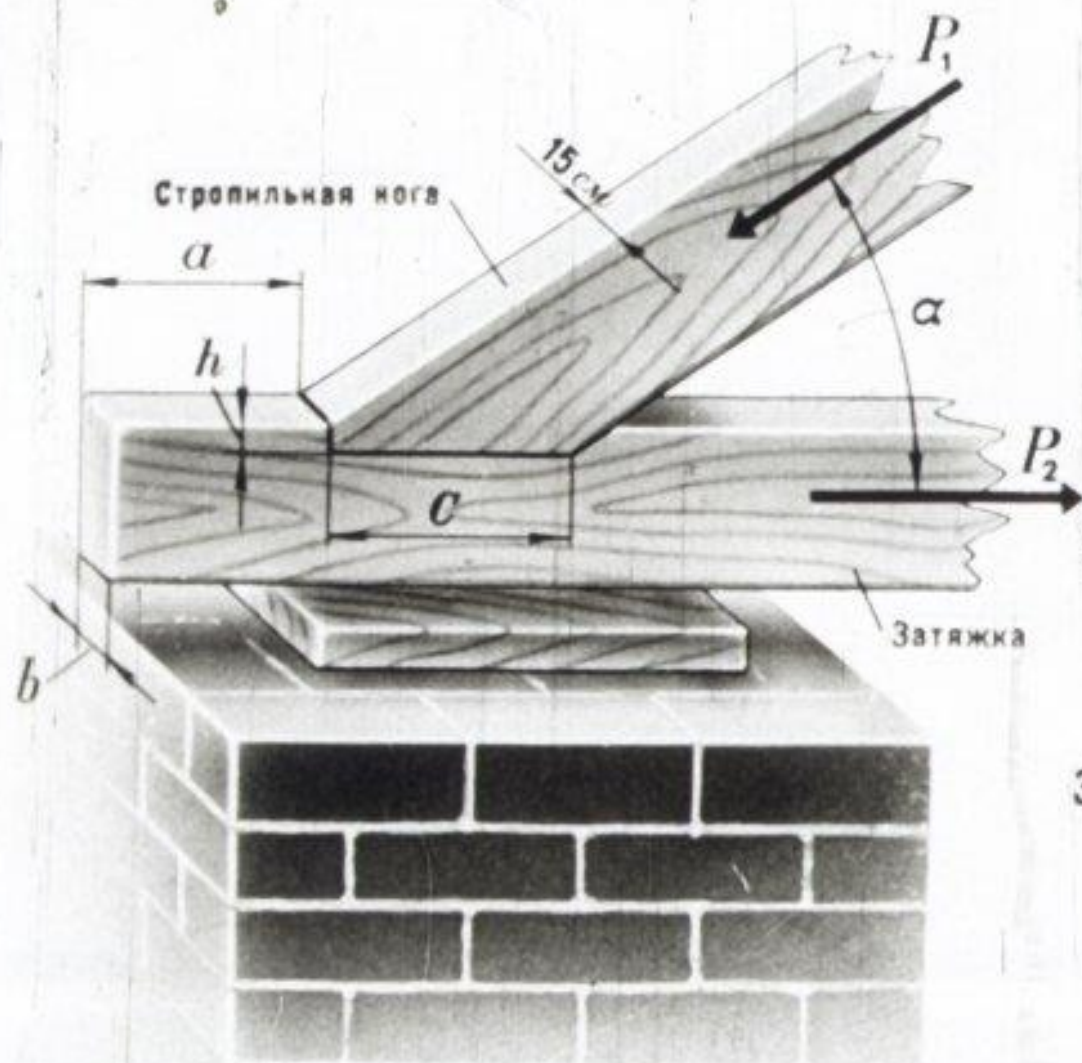


$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4500}{5 \cdot 15} = 60 \text{ кг/см}^2$$



$$\tau = \frac{4500}{15 \cdot 30} = 10 \text{ кг/см}^2$$

## Данные для проверки прочности врубки



Допускаемые напряжения:

- 1) на скалывание  
вдоль волокон

$$[\tau]_0:$$

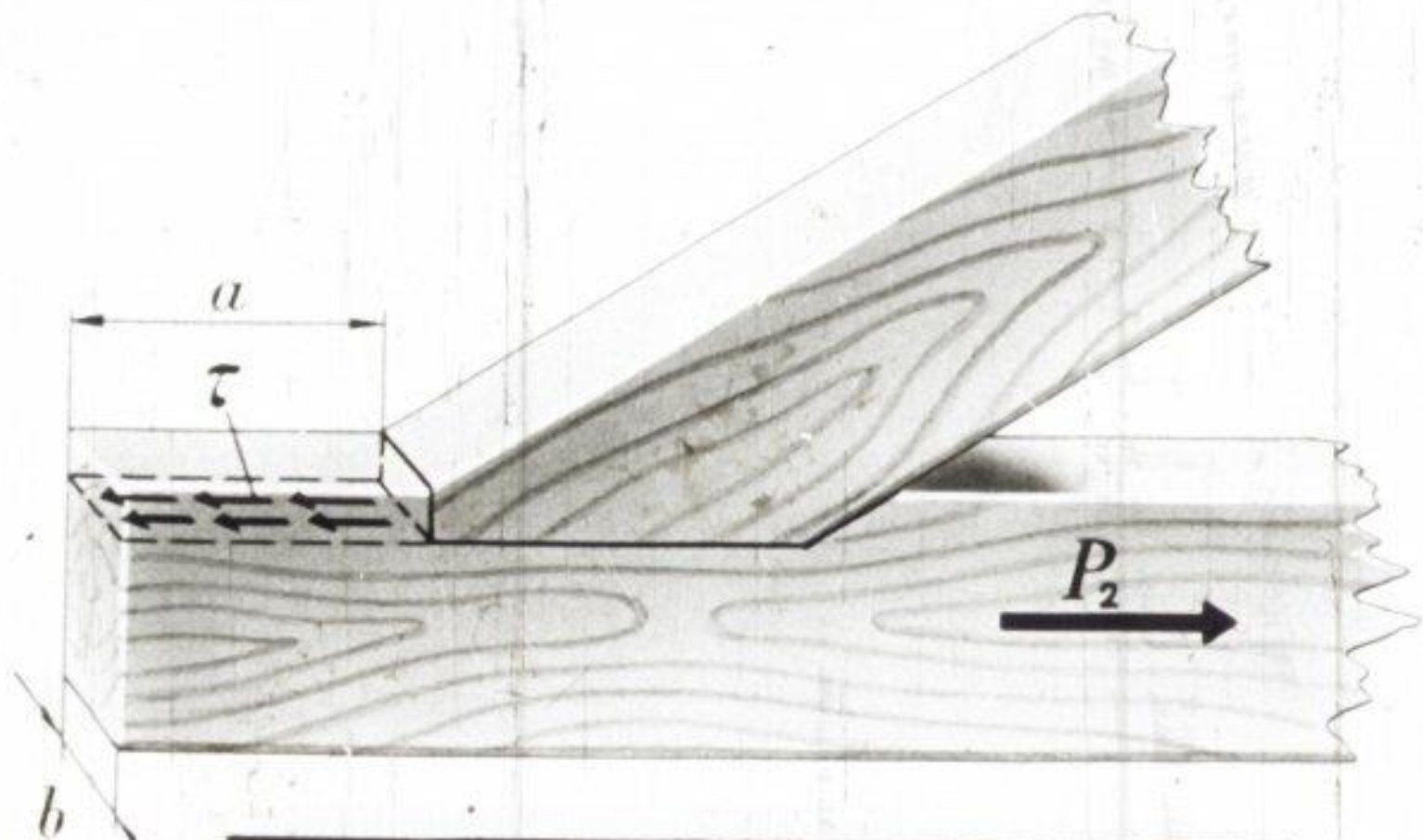
- 2) на смятие под углом  $\alpha$   
к направлению волокон

$$[\sigma_{см}]_{\alpha}:$$

- 3) на смятие поперек  
волокон

$$[\sigma_{см}]_{90}.$$

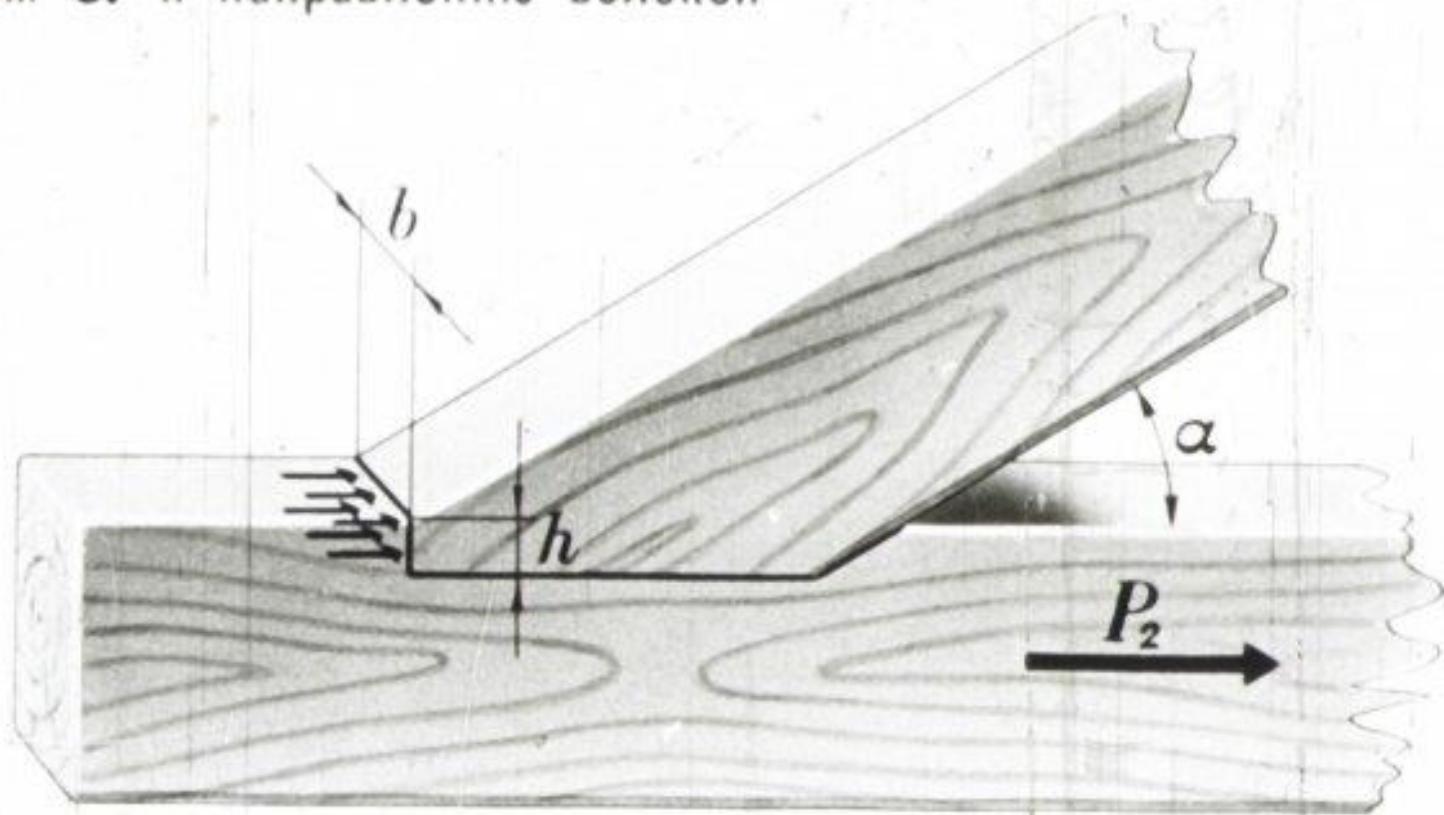
1) Проверка прочности врубки на скалывание вдоль волокон



$$\tau = \frac{P_2}{ba} \leq [\tau]_0$$

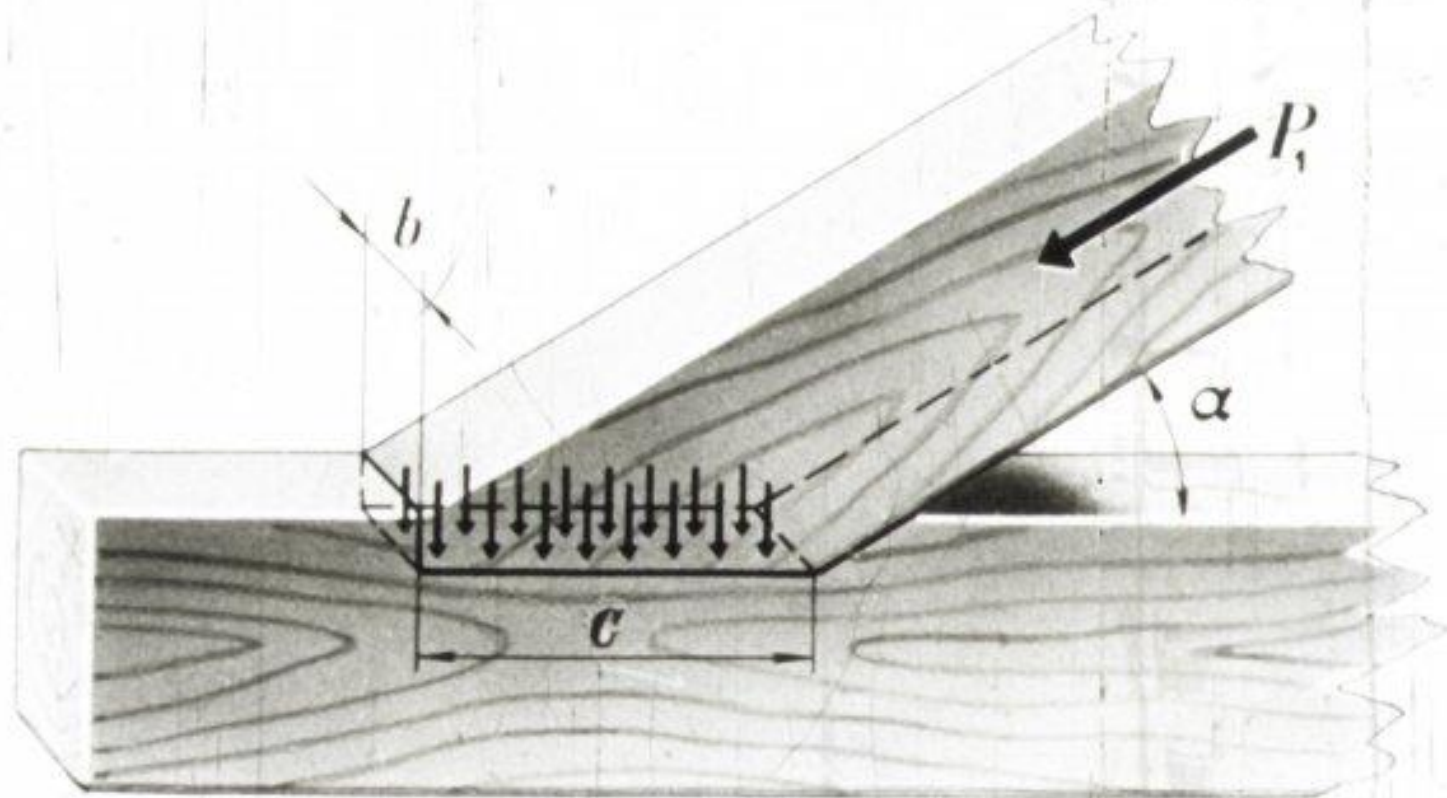


2) Проверка прочности стропильной ноги на смятие под углом  $\alpha$  к направлению волокон



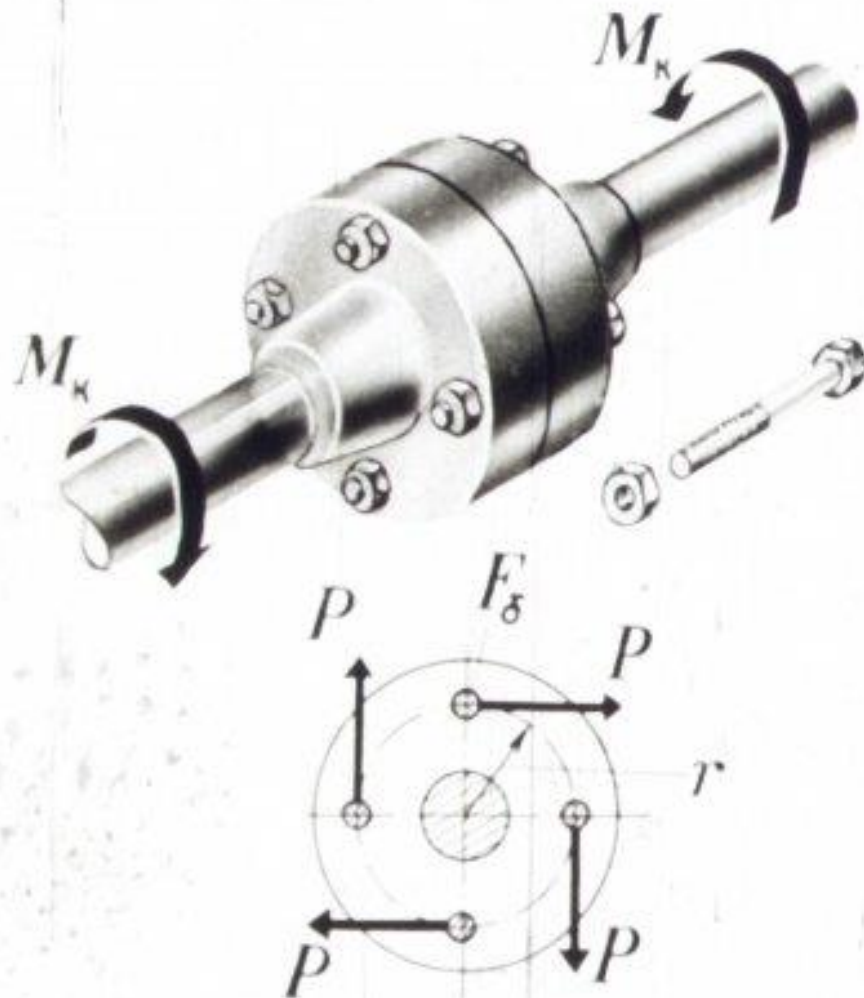
$$\frac{P_2}{bh} \leq [\sigma_{\text{см}}]_{\alpha}$$

3) Проверка прочности затяжки на смятие поперек волокон



$$\frac{P, \sin \alpha}{bc} \leq [\sigma_{\text{см}}]_{90}$$

Расчет касательных напряжений  
в болтах фланцевого соединения вала при кручении



Если число болтов  $n$ , то

$$M_k = nPr.$$

Сила, стремящаяся срезать  
один болт,

$$P = \frac{M_k}{nr}.$$

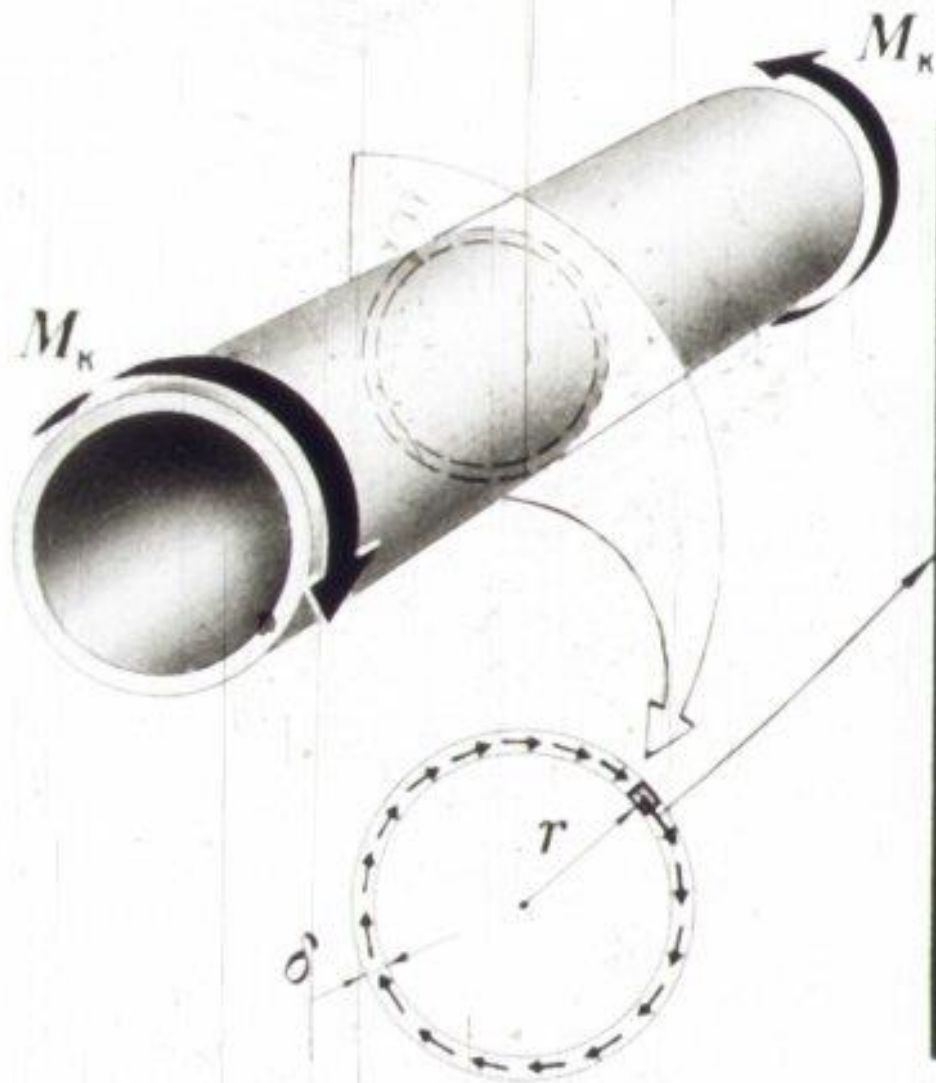
Касательное напряжение  
в плоскости сдвига болта

$$\tau = \frac{P}{F_\delta} = \frac{M_k}{nF_\delta r} = \frac{M_k}{W_k}.$$

Момент сопротивления кручению

$$W_k = nF_\delta r \text{ (см}^3\text{)}.$$

# Касательные напряжения в скручиваемой тонкой трубе



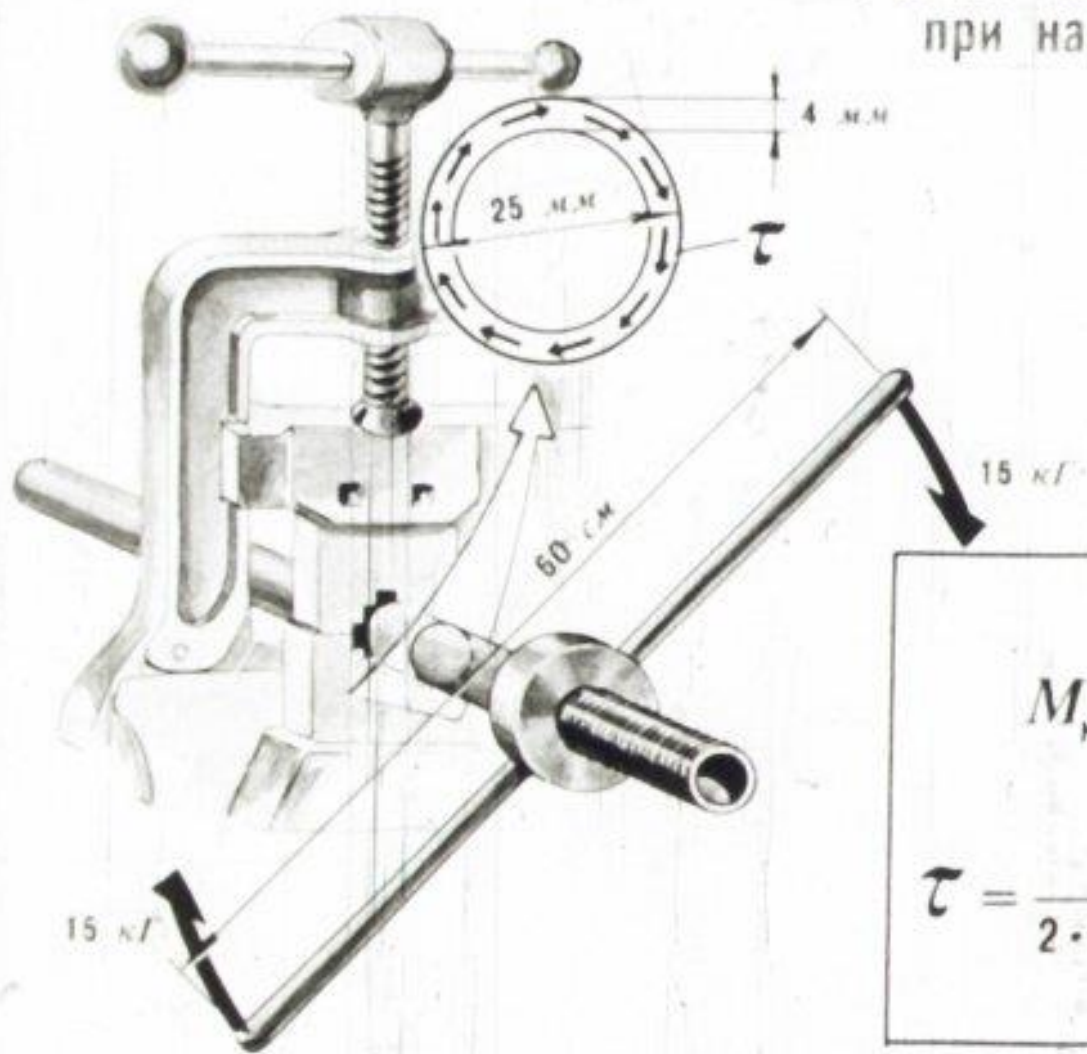
Каждая частица площади поперечного сечения трубы сопротивляется сдвигу подобно болту во фланцевом соединении. Поэтому

$$\tau = \frac{M_k}{W_k}.$$

Площадь сдвига болтов  $nF_\delta$  заменяется площадью сечения трубы  $2\pi r\delta$ . Поэтому

$$W_k = 2\pi r^2\delta.$$

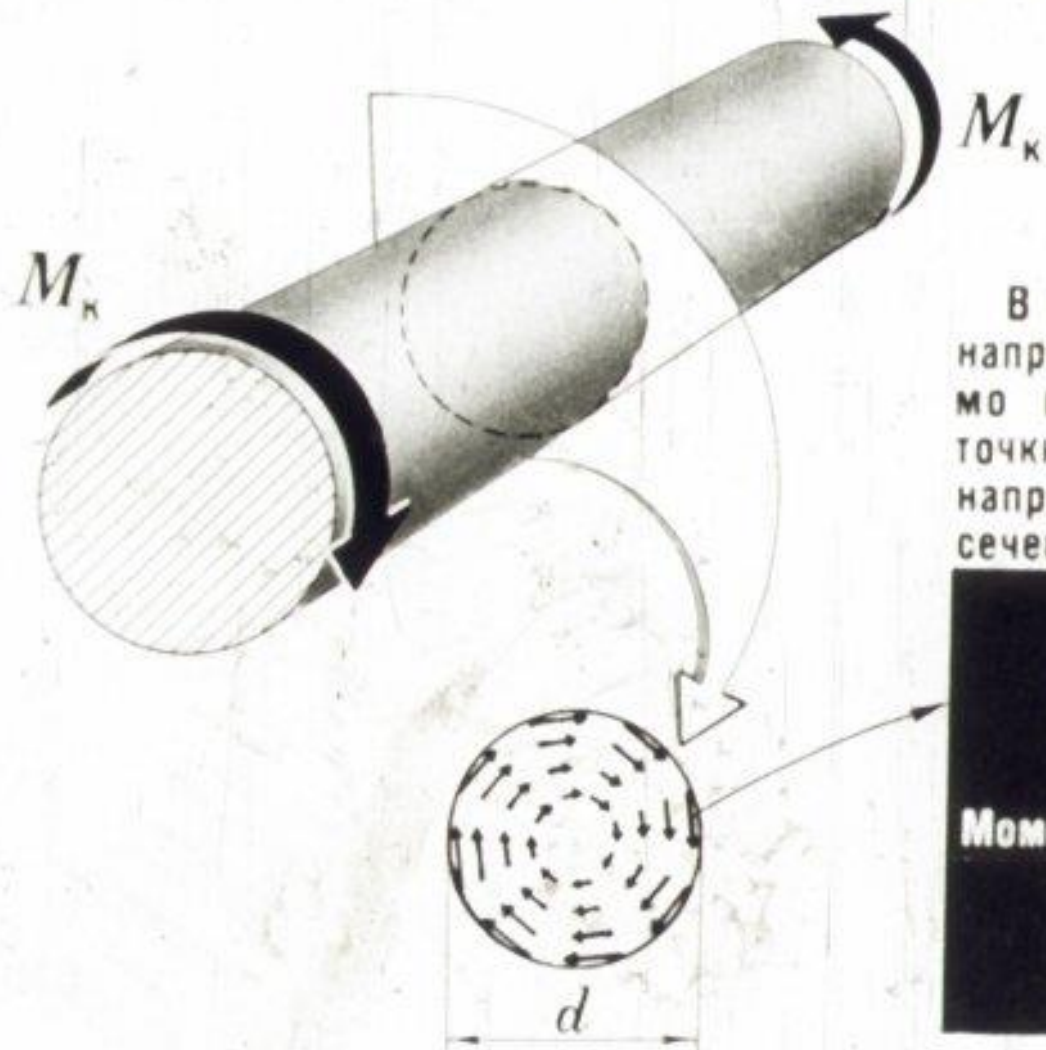
Расчет напряжения в трубе  
при нарезании резьбы



$$M_{\kappa} = 15 \cdot 60 = 900 \text{ кгсм.}$$

$$\tau = \frac{900}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,25^2 \cdot 0,4} = 208 \text{ кг/см}^2.$$

# Касательные напряжения в скручиваемом стержне круглого поперечного сечения



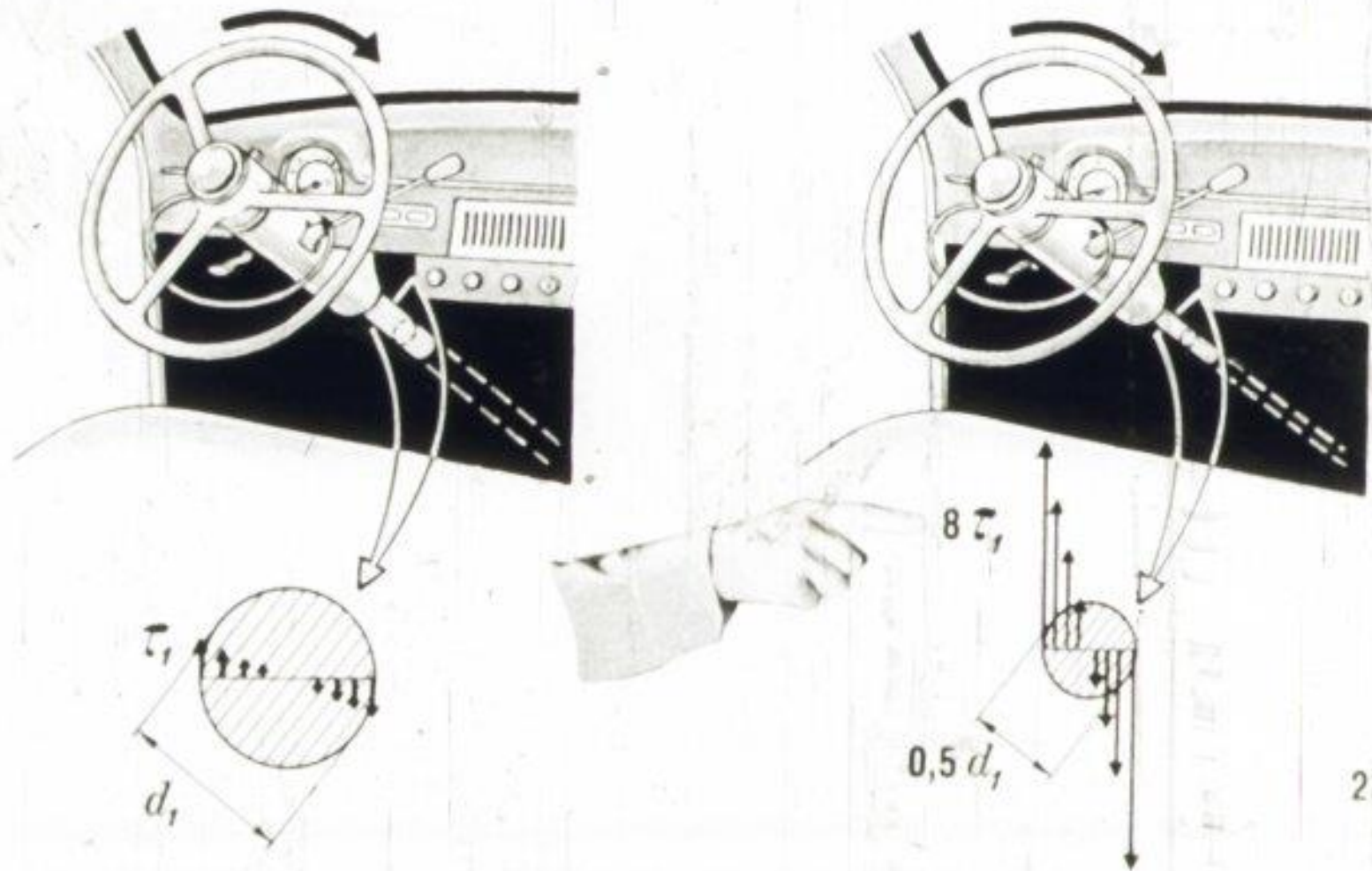
В центре сечения касательного напряжения нет. Напряжение прямо пропорционально расстоянию точки от центра. Максимальное напряжение возникает на контуре сечения:

$$\tau_{\text{макс}} = \frac{M_k}{W_k} \cdot r$$

Момент сопротивления кручению

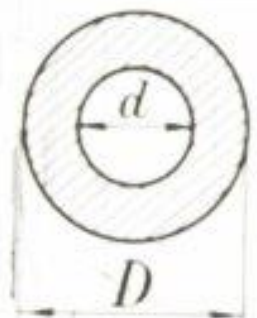
$$W_k \approx 0,2 d^3.$$

Если уменьшить диаметр скручиваемого стержня вдвое, то максимальное касательное напряжение в нем увеличится в 8 раз.

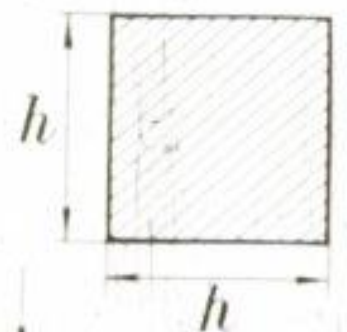


Величина  $\tau_{\text{макс}}$  для поперечных сечений других форм

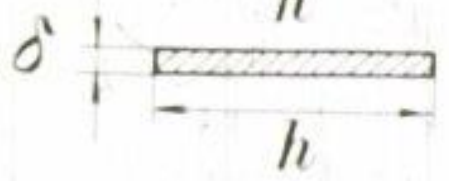
$$\tau_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{к}}}{W_{\text{к}}}$$



$$W_{\text{к}} = 0,2D^3 \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)$$



$$W_{\text{к}} = 0,208 h^3$$

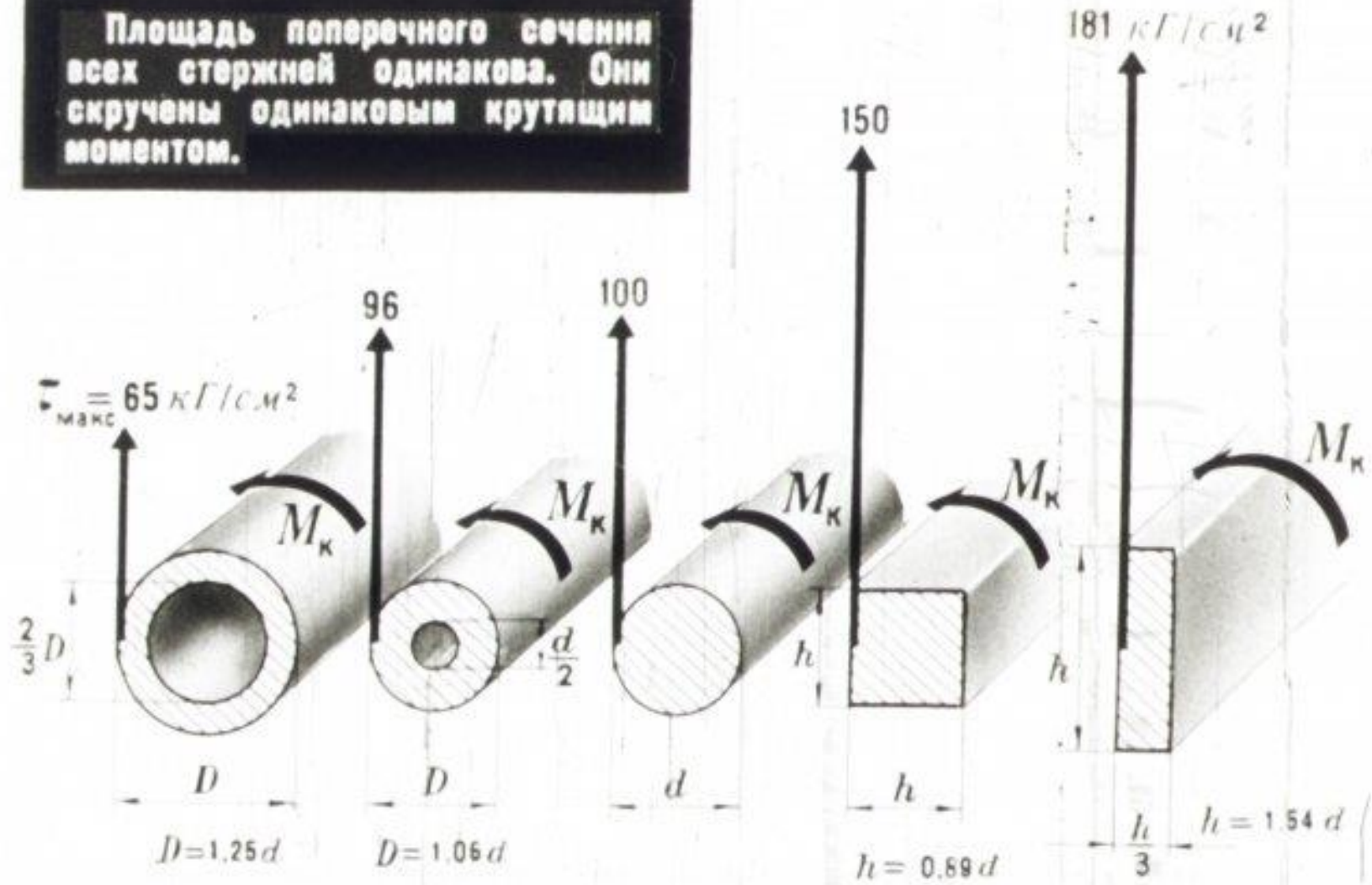


$$W_{\text{к}} = \frac{h\delta^2}{3}$$

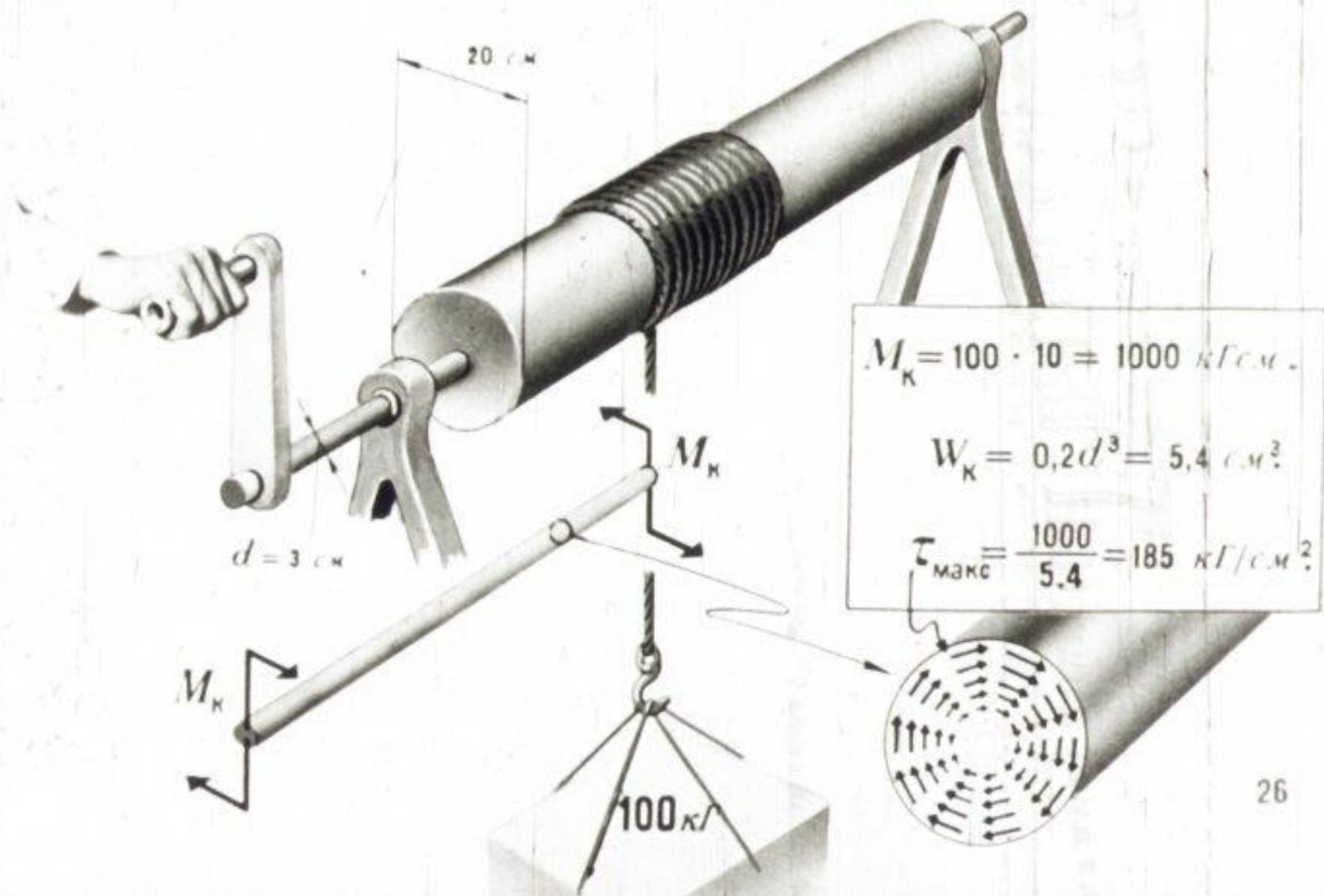


Зависимость величины  $\tau_{\text{макс}}$  от формы поперечного сечения

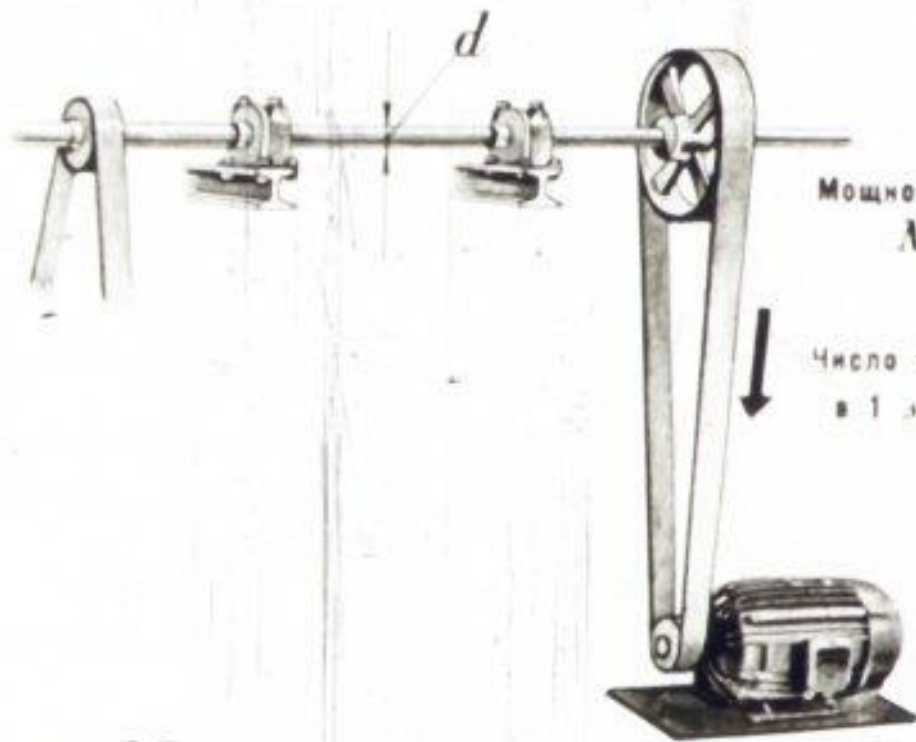
**Площадь поперечного сечения всех стержней одинакова. Они скручены одинаковым крутящим моментом.**



# Расчет $\tau_{\text{макс}}$ для стального валика ворота



Расчет диаметра трансмиссионного вала  
по заданному допускаемому касательному напряжению  $[\tau]$



Мощность на валу  
 $N = 35$  л. с.

Число оборотов вала  
в 1 мин  $n = 250$ .

$$[\tau] = 400 \text{ кг/см}^2.$$

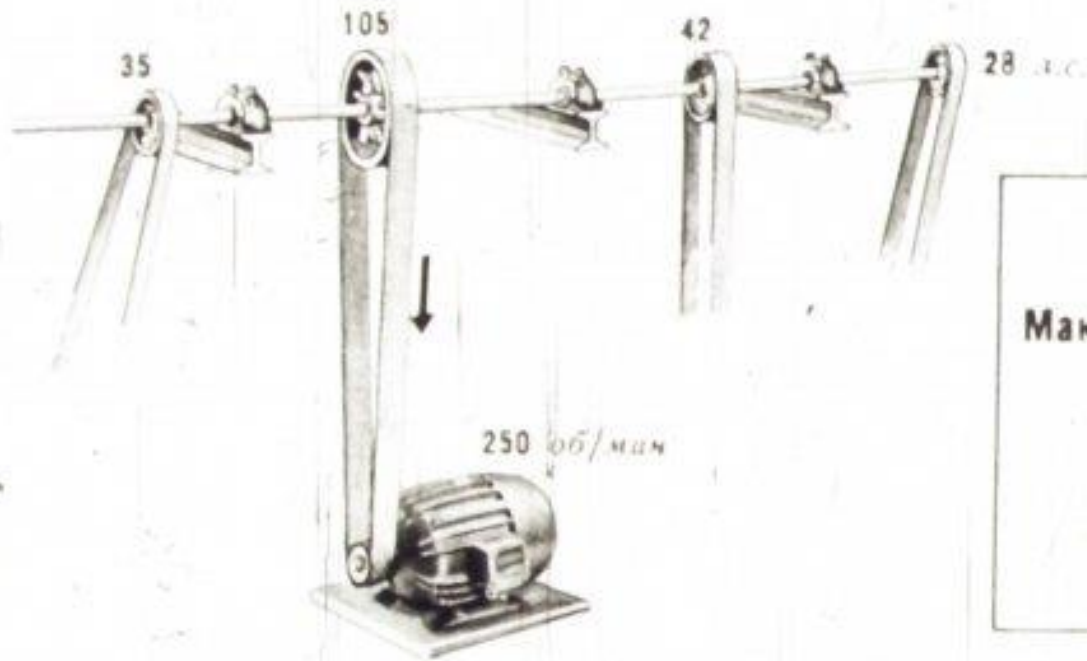
Из условия прочности

$$\tau_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{к}}}{0,2 d^3} = [\tau].$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{к}}}{0,2 [\tau]}} = 3,5 \text{ см.}$$

$$M_{\text{к}} = 71620 \frac{N}{n} = 10000 \text{ кгсм.}$$

# Расчет диаметра трансмиссионного вала с несколькими ведомыми шкивами

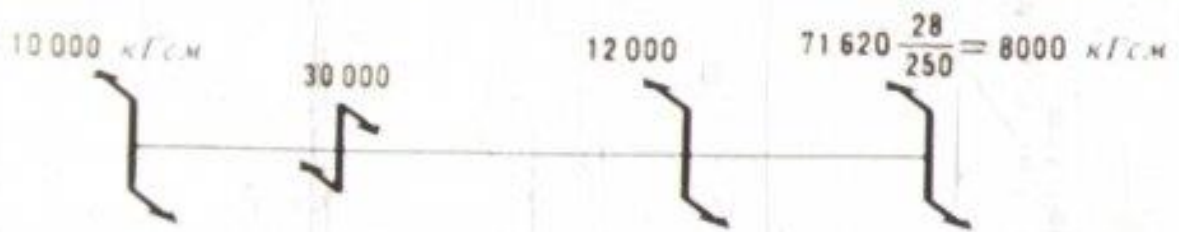


$[\tau] = 400 \text{ кг/см}^2$

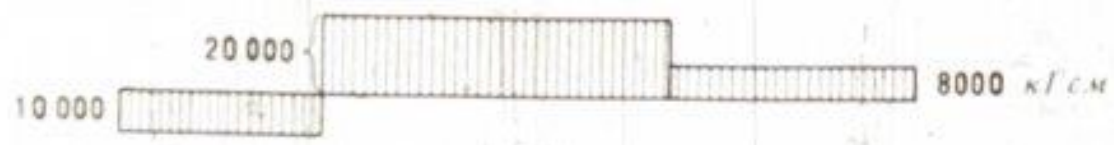
Максимальный крутящий момент

$M_K = 20000 \text{ кгсм}$

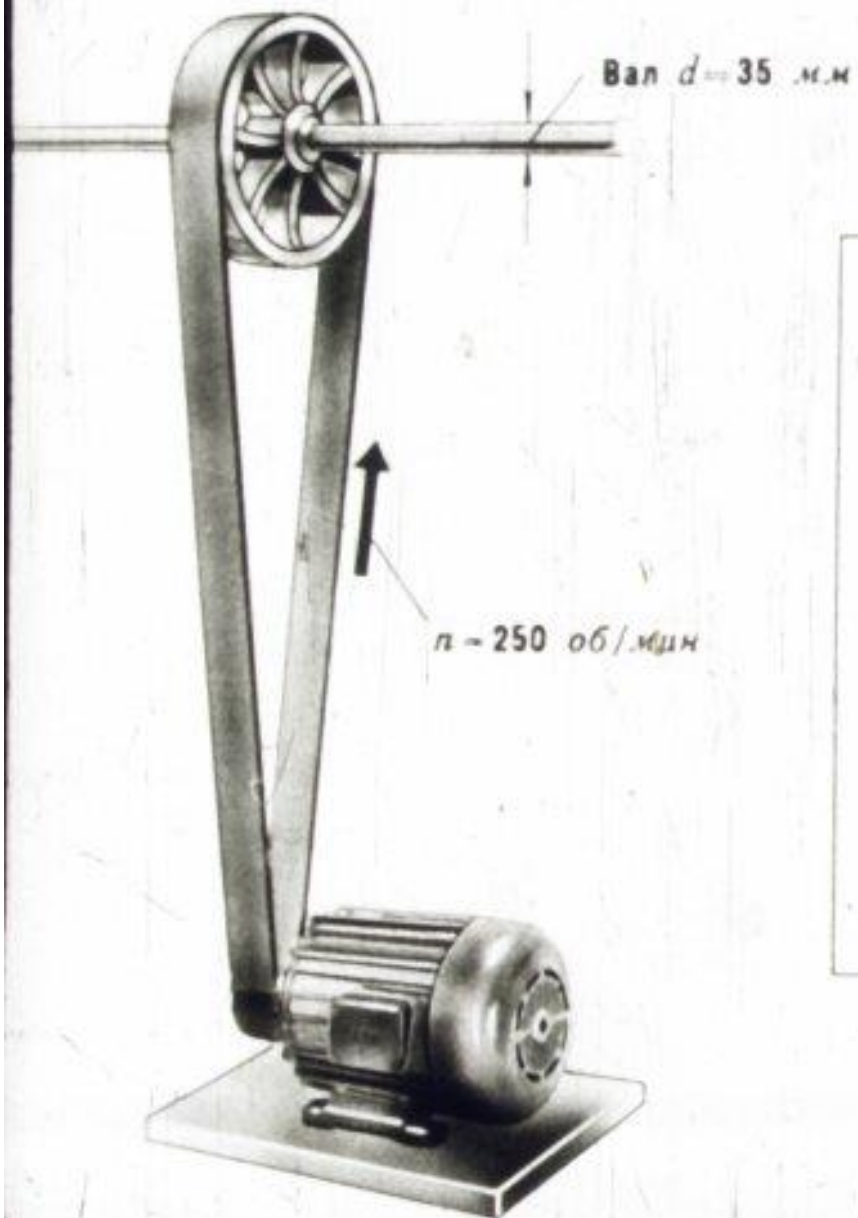
$d = \sqrt[3]{\frac{M_K}{0,2 [\tau]}} = 5 \text{ см.}$



Эюра крутящего момента



Расчет мощности ( $N$ ), передаваемой с электродвигателя на вал



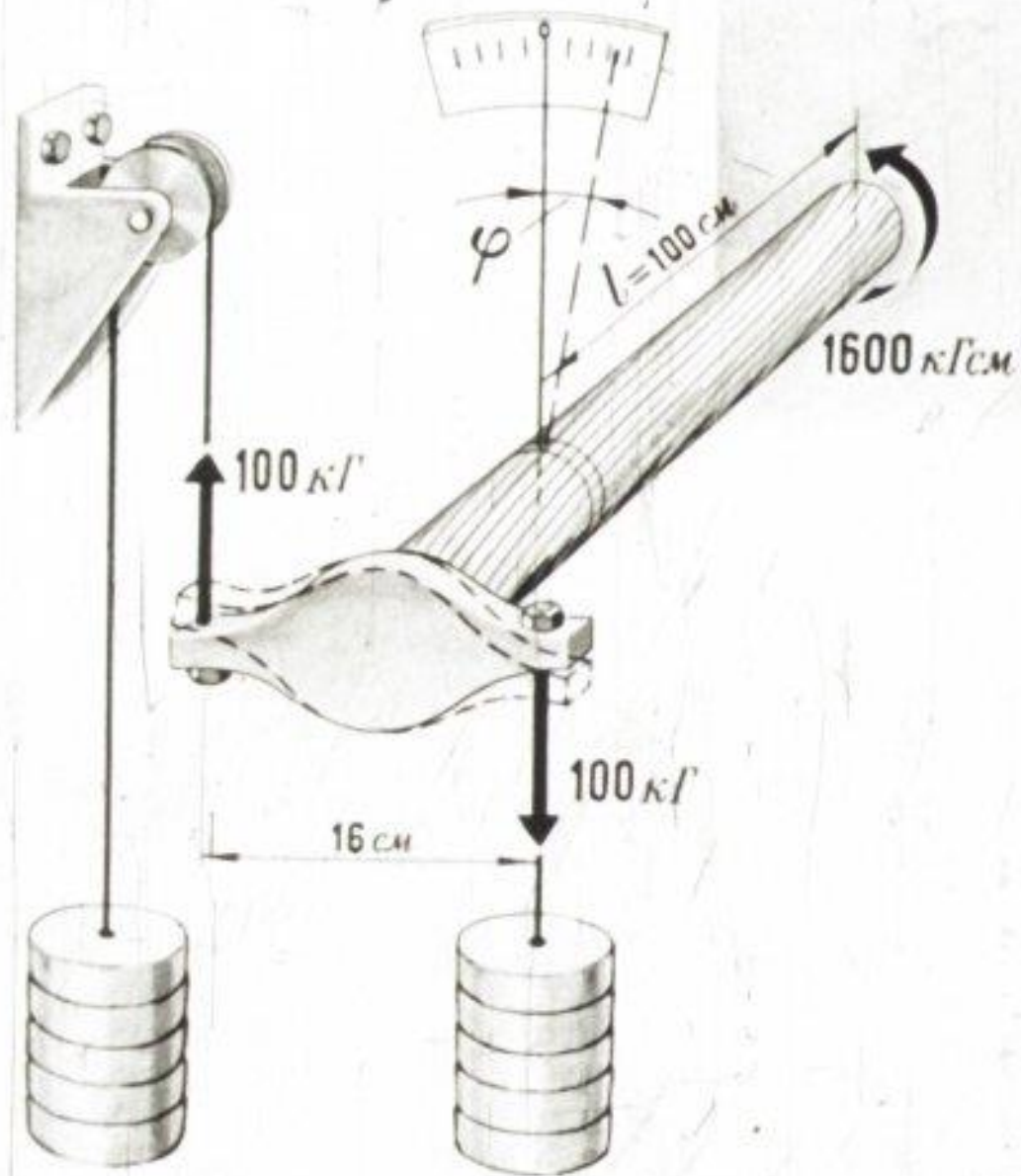
$$[\tau] = 400 \text{ кг/см}^2.$$

Из условия прочности

$$\frac{M_k}{0,2 d^3} = \frac{71620 \frac{N}{n}}{0,2 d^3} = [\tau].$$

$$N = \frac{0,2 d^3 [\tau]}{71620} = 35 \text{ л. с.}$$

Мера деформации кручения — угол закручивания



$$\varphi = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{M_K l}{G J_P}$$

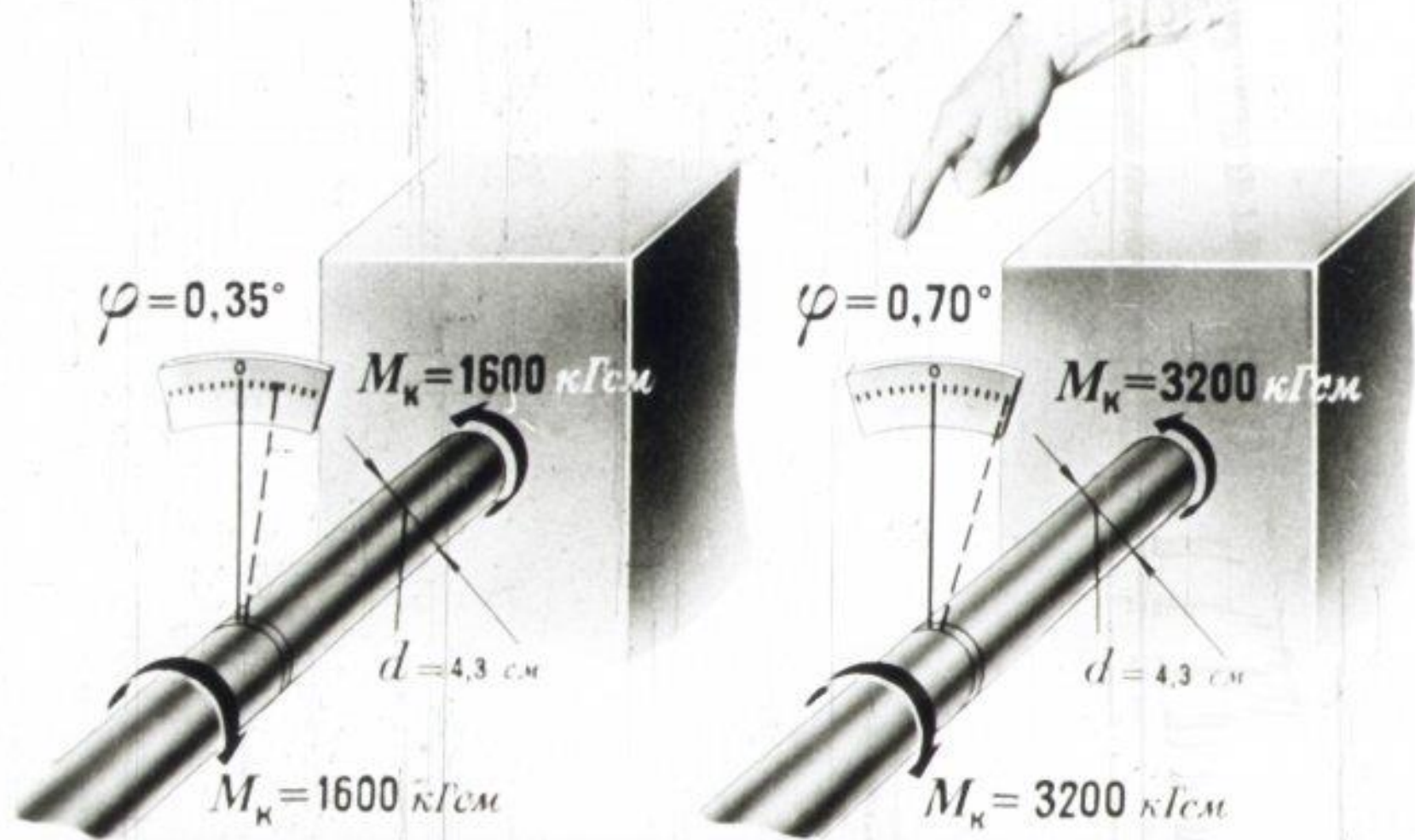
$$d = 4,3 \text{ см};$$

$$G = 800\,000 \text{ кгГ/см}^2;$$

$$J_P = \frac{\pi d^4}{32} \approx \frac{d^4}{10} = 33,5 \text{ см}^4;$$

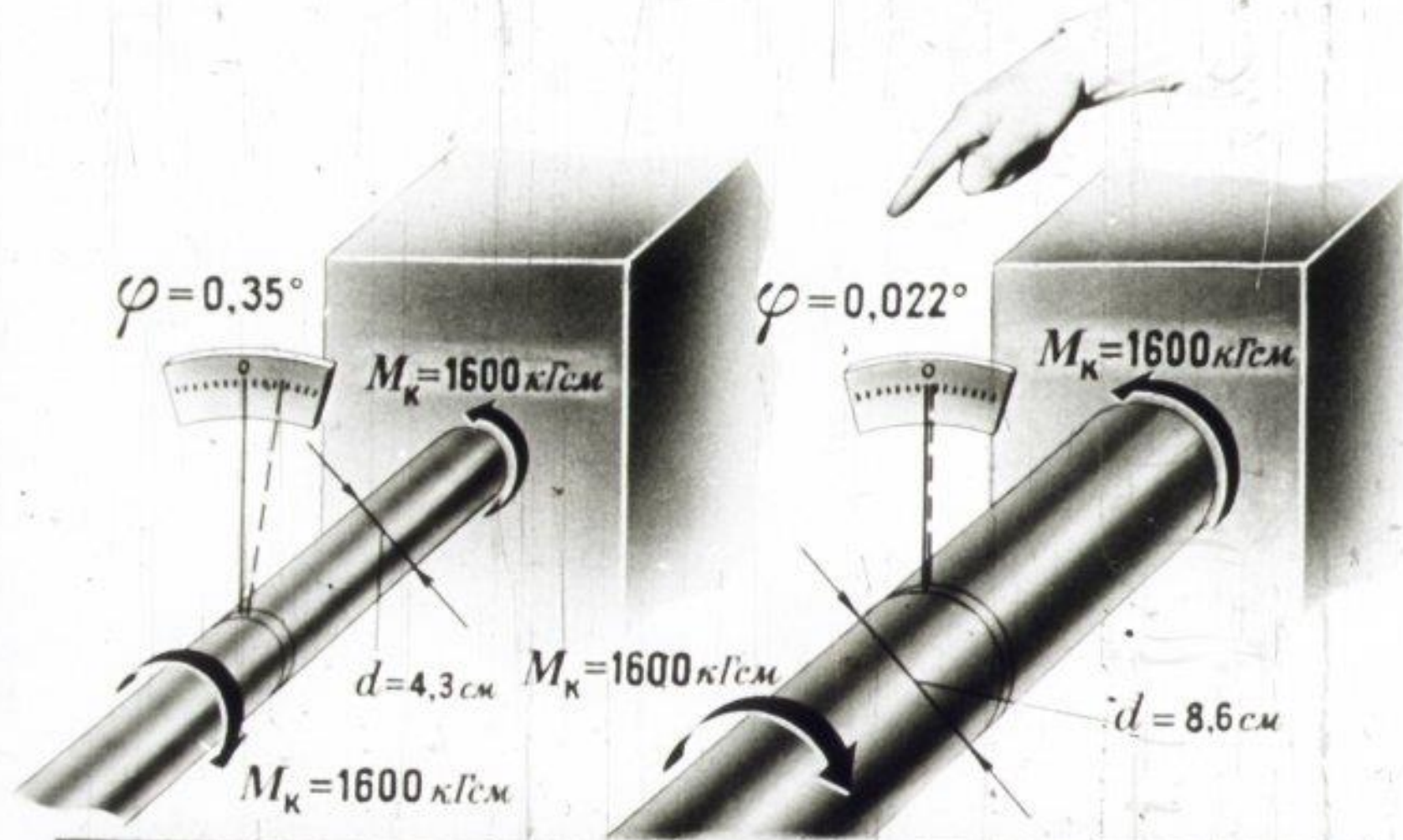
$$\varphi = 0,35^\circ.$$

# Зависимость угла закручивания от крутящего момента



**Угол закручивания прямо пропорционален крутящему моменту.**

# Зависимость угла закручивания от диаметра стержня



**Угол закручивания обратно пропорционален четвертой степени диаметра.**



# Зависимость угла закручивания от модуля сдвига

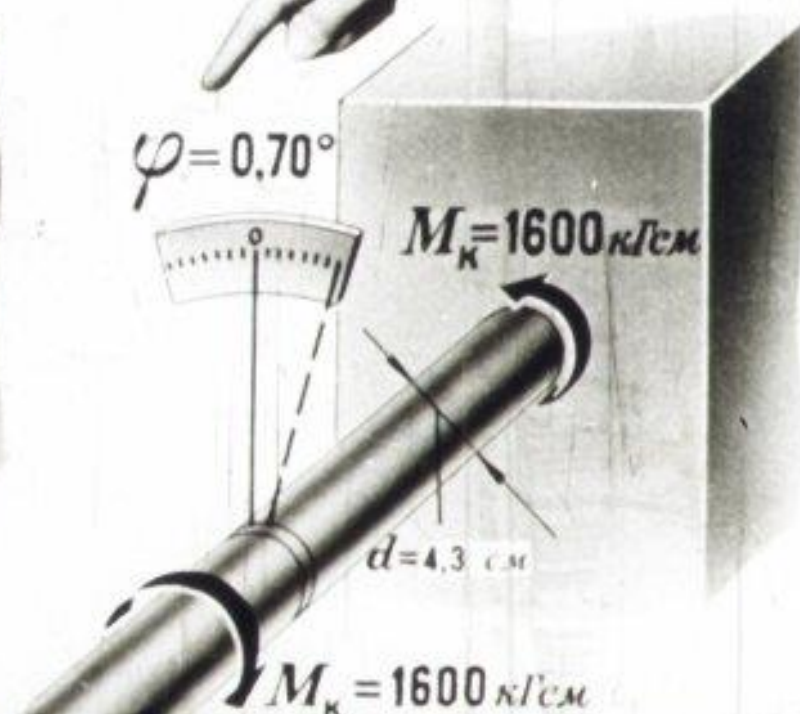
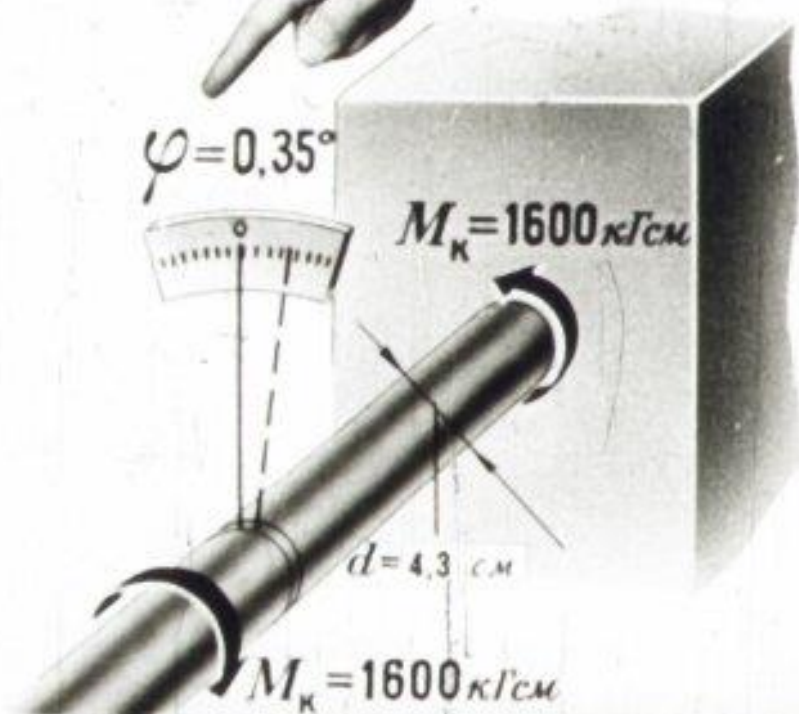
Стержень

Стальной

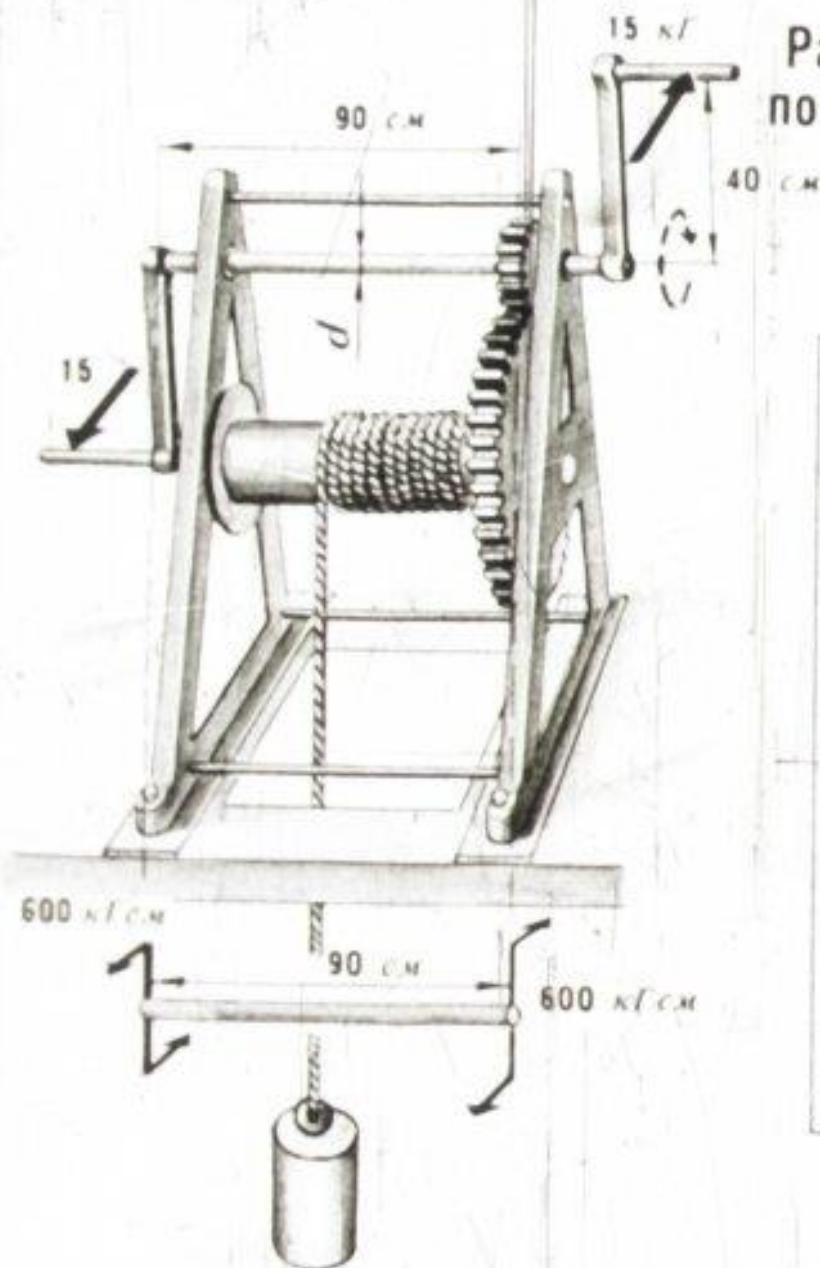
$$G = 800\,000 \text{ кг/см}^2$$

Латунный

$$G = 400\,000 \text{ кг/см}^2$$



Угол закручивания обратно пропорционален модулю сдвига материала ( $G$ ).



Расчет диаметра скручиваемого стержня по допускаемому углу закручивания  $[\varphi]$

$$[\varphi] = 0,3^\circ:$$

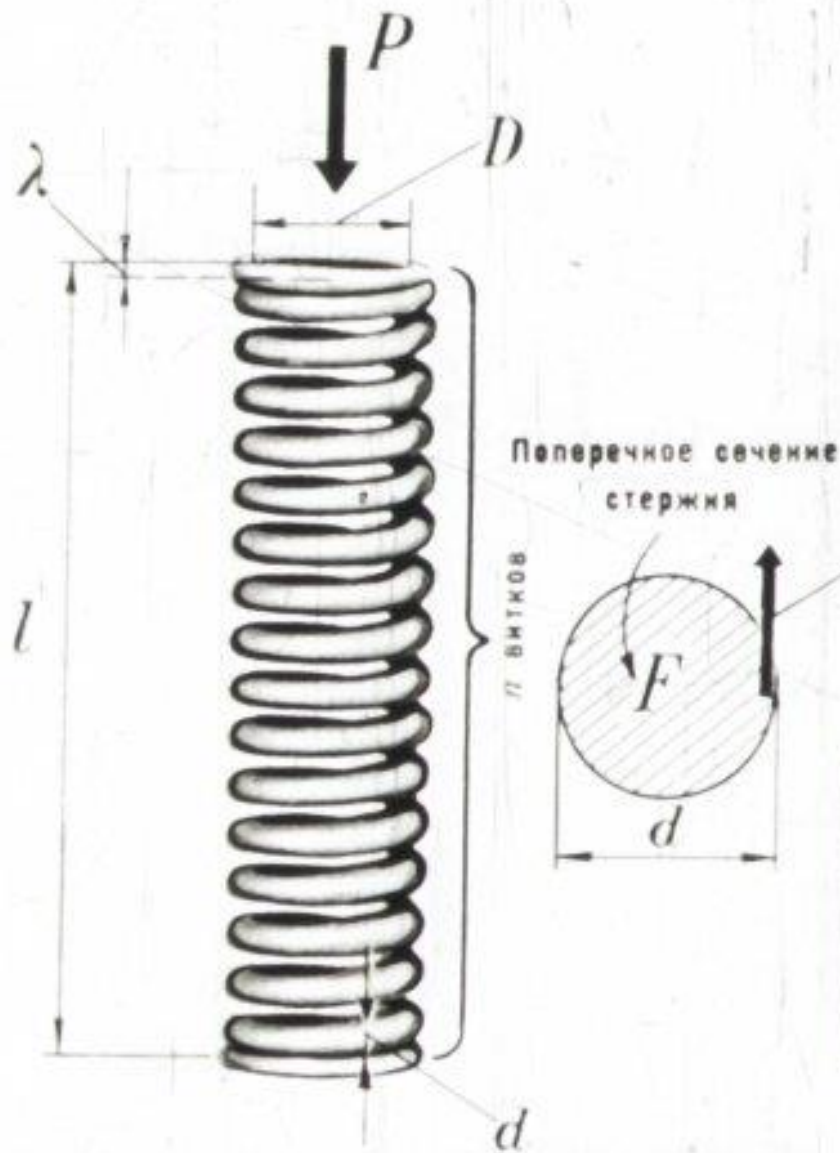
$$G = 800\,000 \text{ кг/см}^2.$$

Из условия жесткости

$$\frac{180}{\pi} \frac{M_{\kappa} l}{GJ_p} \approx \frac{1800}{\pi G d^4} M_{\kappa} l = [\varphi].$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{1800}{\pi} \frac{M_{\kappa} l}{G[\varphi]}} = 3,4 \text{ см.}$$

# Напряжения и деформации в пружине



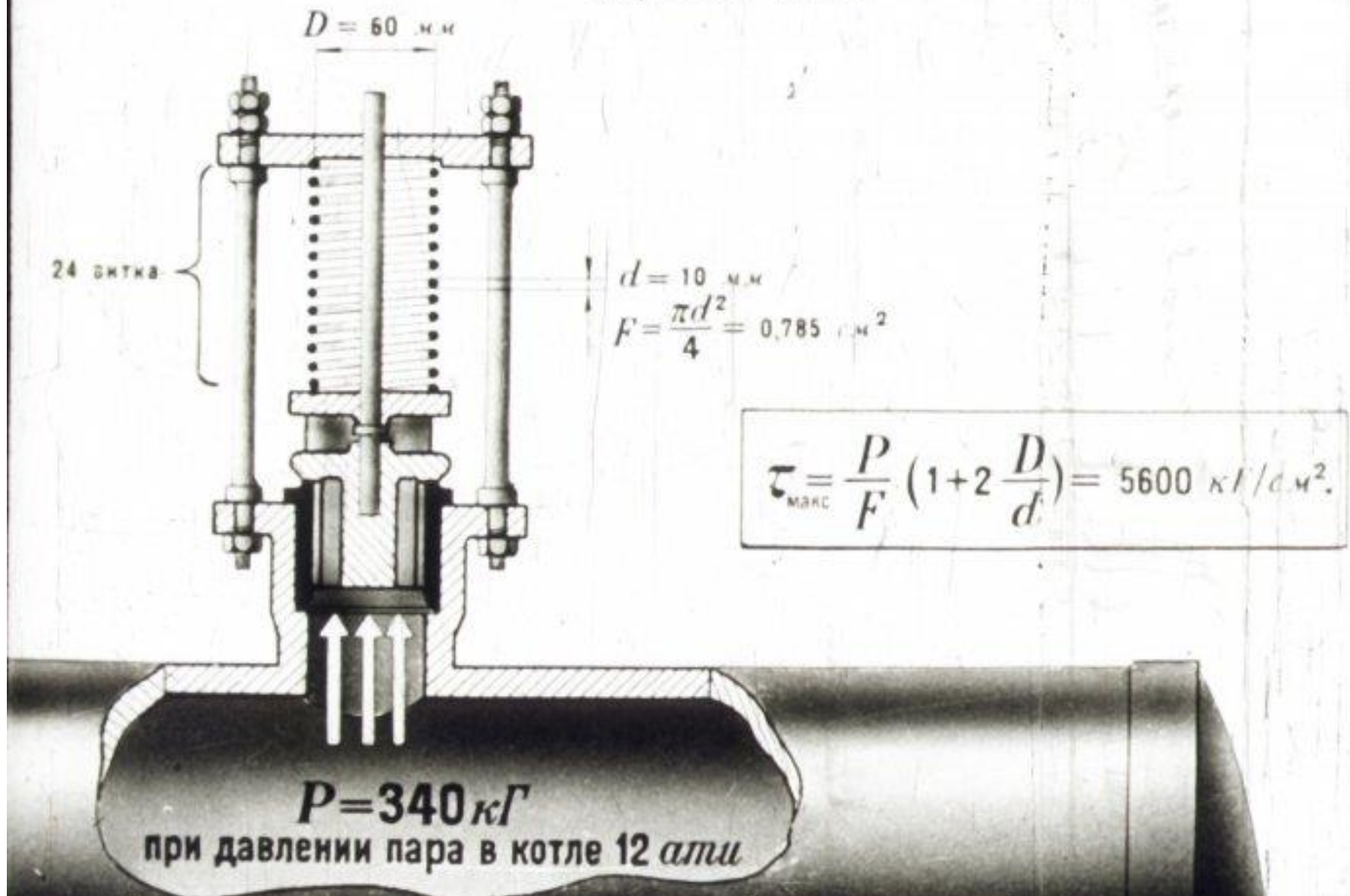
Максимальное касательное напряжение в поперечном сечении стержня

$$\tau_{\text{макс}} = \frac{P}{F} \left(1 + 2 \frac{D}{d}\right).$$

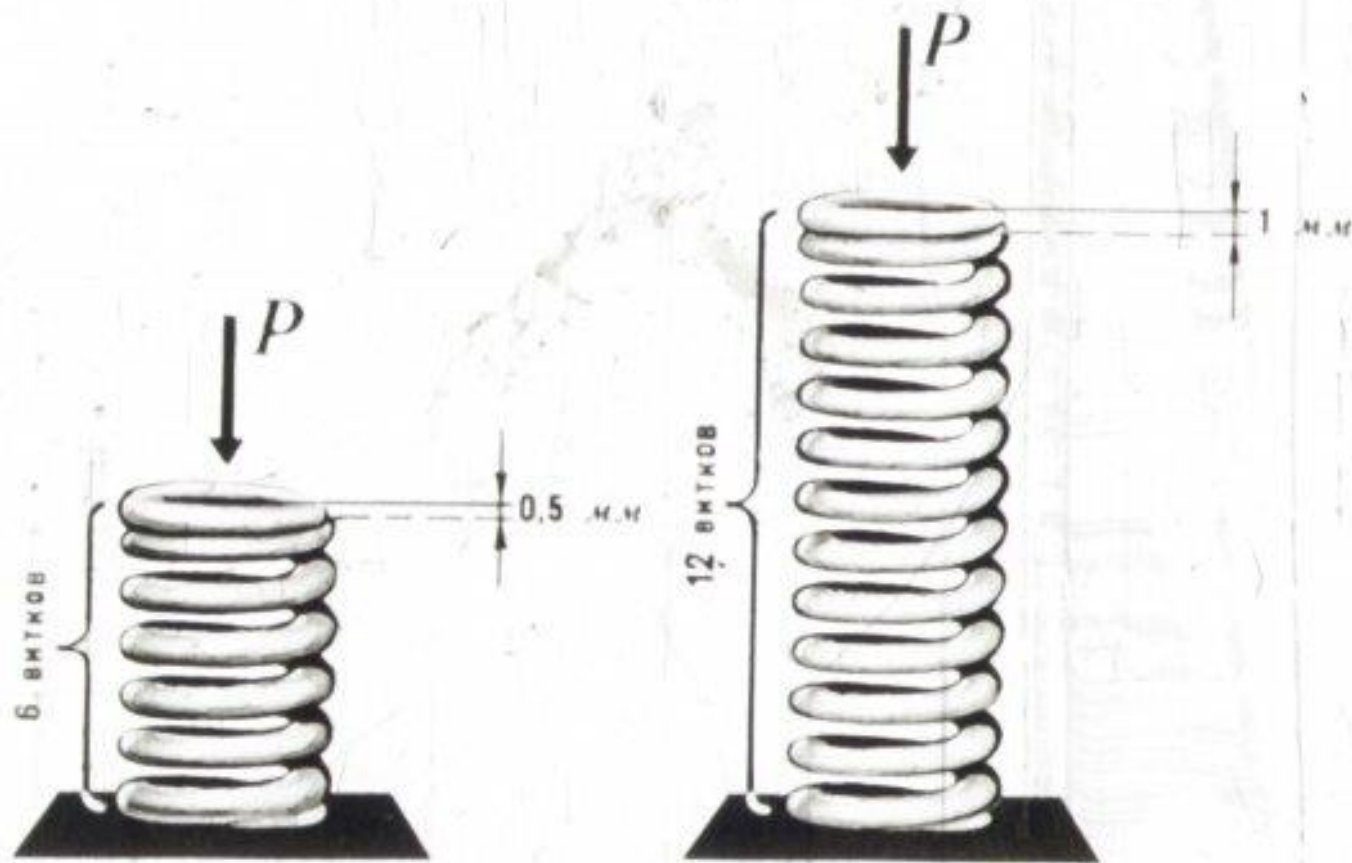
Осадка пружины

$$\lambda = 8 \frac{PnD^3}{Gd^4}.$$

Расчет  $\tau_{\text{макс}}$  в пружине предохранительного клапана  
парового котла

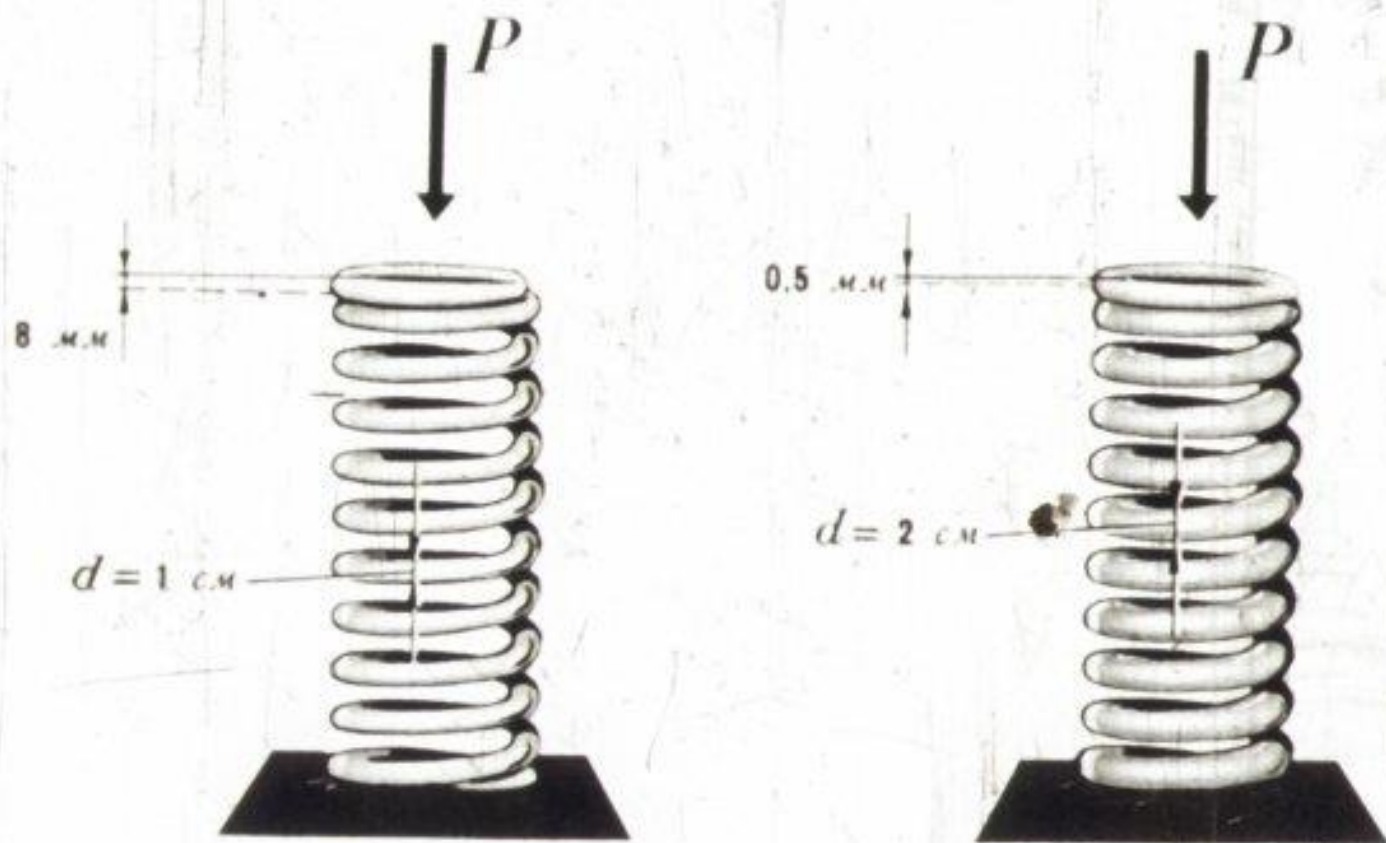


# Зависимость осадки пружины от количества витков



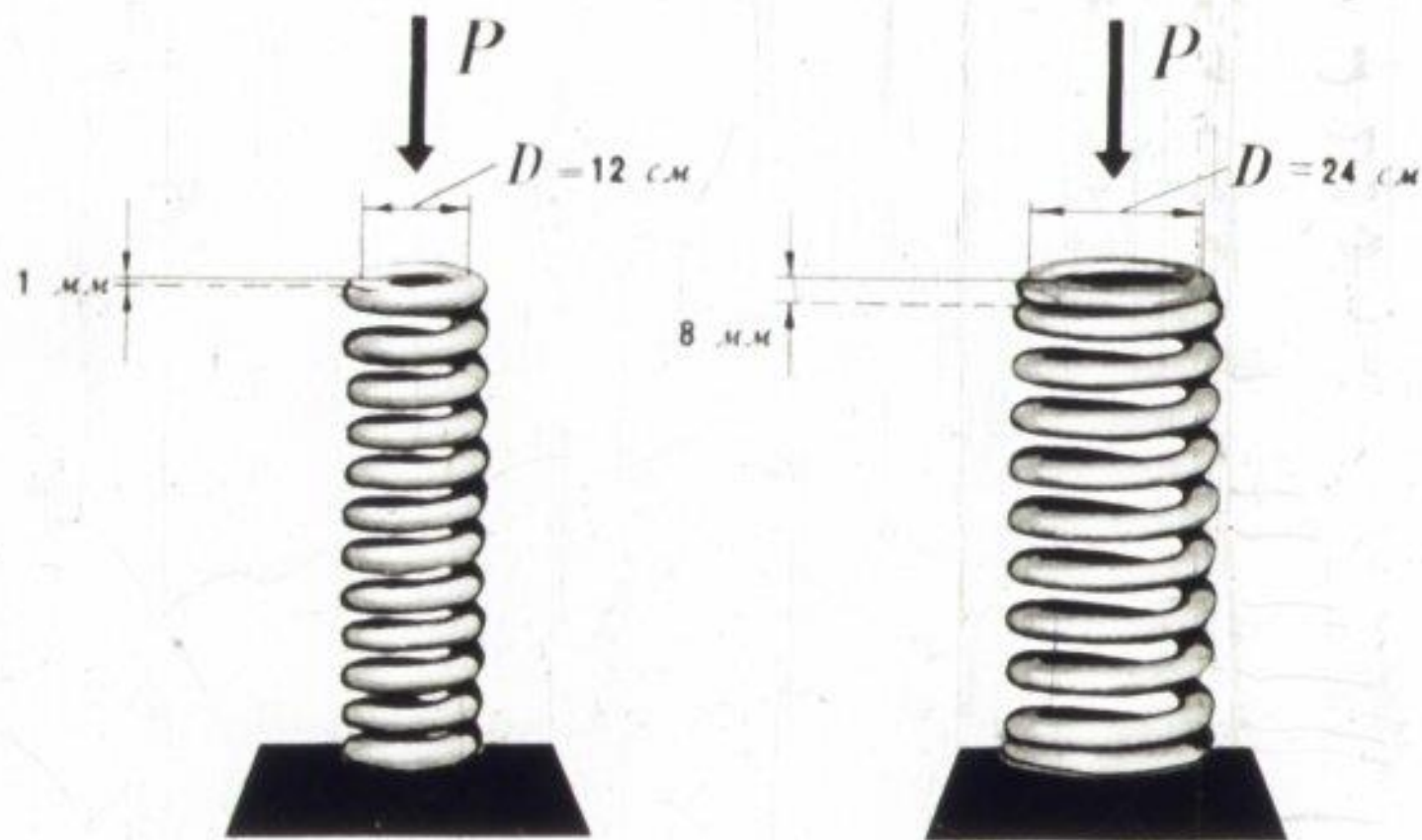
**Осадка пружины прямо пропорциональна количеству витков.**

# Зависимость осадки пружины от диаметра стержня



Если увеличить вдвое диаметр стержня пружины, то ее осадка уменьшится в 16 раз.

# Зависимость осадки пружины от диаметра витка



Если увеличить вдвое диаметр витка, то осадка пружины увеличится в 8 раз.

**Конец второй части**