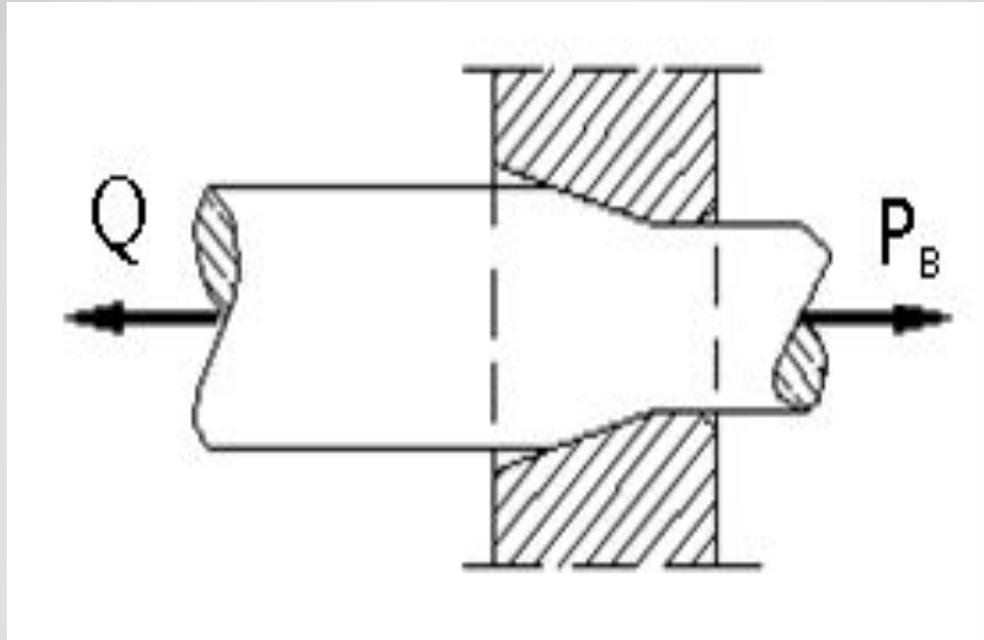


# Теория пластической деформации

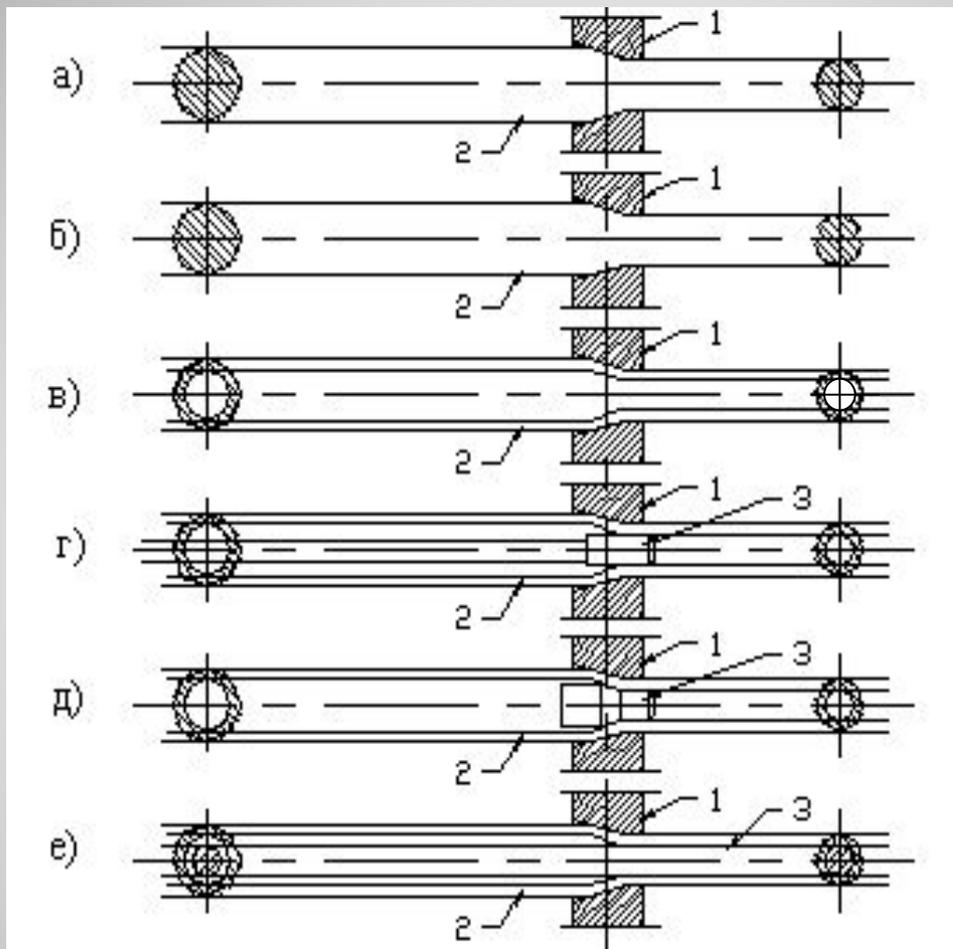
## Часть 3 Теория волочения

1. Рудской А.И., Лунев В.А., Шаболдо О.П. Волочение. Учебное пособие СПб., Из-во Политехнического университета, 2011 , 126 с.
2. И.Л. Константинов, С.Б. Сидельников, Е.В. Иванов Прокатно-прессово-волоочильное производство: учеб. / - Красноярск: Сиб. Федер.ун-т 2014. -512с.
3. Теория волочения. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Изд-во "Металлургия", 1971, 2-е изд., 448 с.
4. Красильщиков Р.Б. Деформационный нагрев и производительность волоочильного оборудования. М.: Metallurgiya, 1970. 167 с.
5. Колмогоров В.Л., Орлов С.И., Селищев К.П. Волочение в режиме жидкостного трения. М.: Metallurgiya, 1967. 155 с.
6. Колмогоров В.Л., Орлов С.И., Колмогоров Г.Л. Гидродинамическая подача смазки М.: Metallurgiya, 1975. 256 с.

## Литература



**Схема процесса волочения  
(с противонатяжением)**

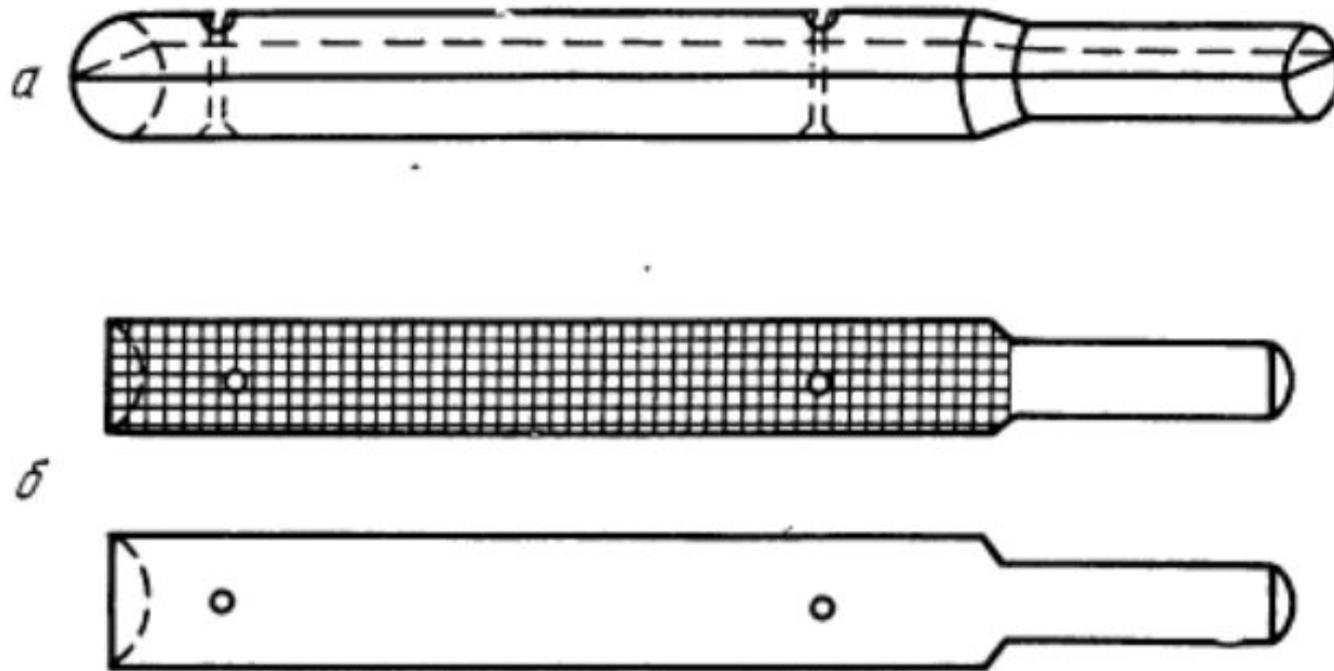


## Разновидности процесса волочения

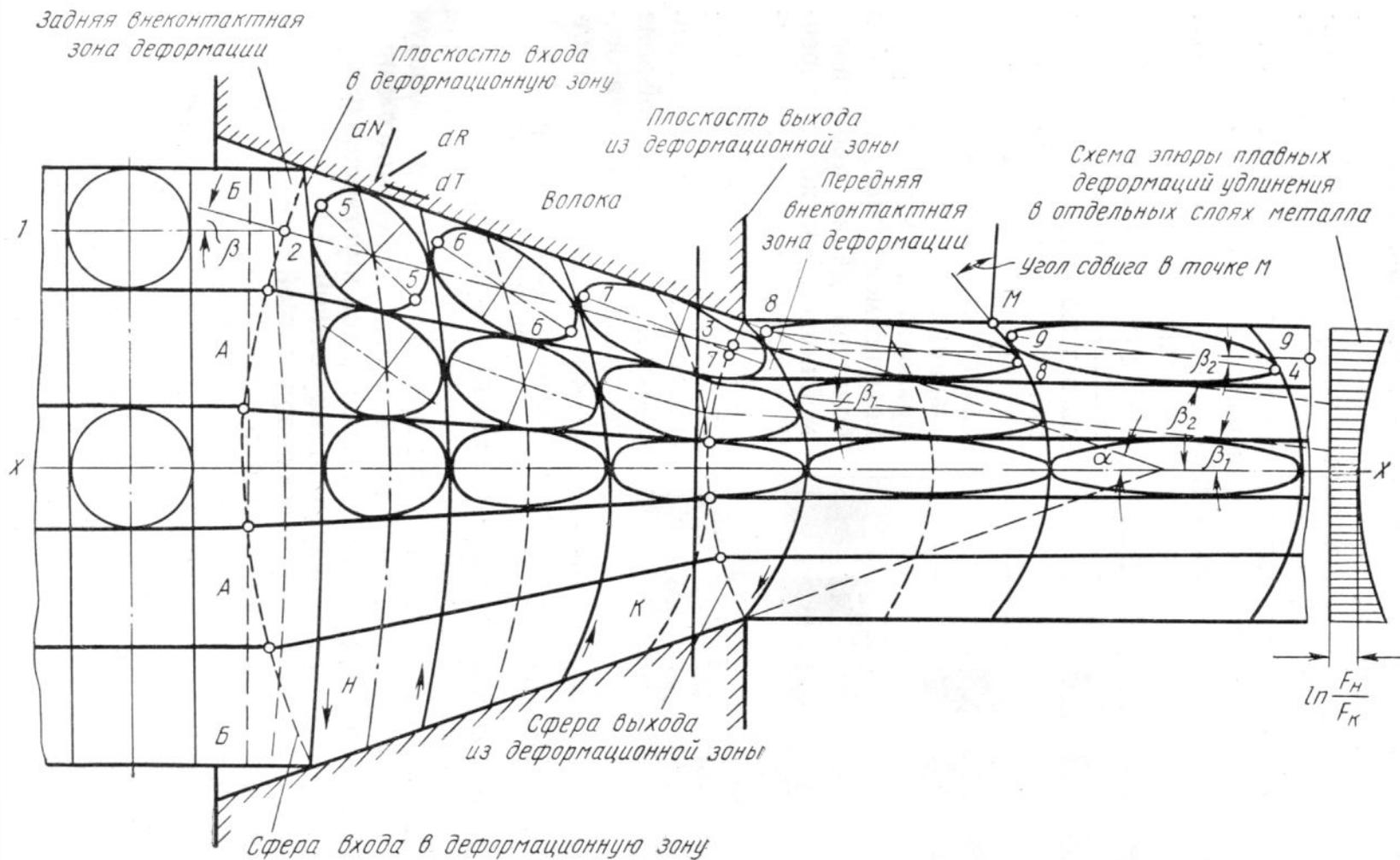
Показатели	Обозначение	Показатели выраженные через					
Название		$F_H, F_K$	$L_H, L_K$	$\mu$	$i_l$	$\varepsilon$	$\lambda$
Вытяжка	$\mu$	$F_H / F_K$	$L_K / L_H$	$\mu$	$\exp i_l$	$\frac{1}{1 - \varepsilon}$	$1 + \lambda$
Интегральная деформация удлинения	$i_l$	$\ln F_H / F_K$	$\ln L_K / L_H$	$\ln \mu$	$i_l$	$\ln \frac{1}{1 - \varepsilon}$	$\ln(1 + \lambda)$
Относительное обжатие	$\varepsilon$	$\frac{F_H - F_K}{F_H}$	$\frac{L_K - L_H}{L_K}$	$\frac{\mu - 1}{\mu}$	-	$\varepsilon$	$\frac{\lambda}{1 + \lambda}$
Относительное удлинение	$\lambda$	$\frac{F_H - F_K}{F_K}$	$\frac{L_K - L_H}{L_H}$	$\mu - 1$	-	$\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}$	$\lambda$

**Показатели относительной деформации металла при волочении и зависимость между ними**



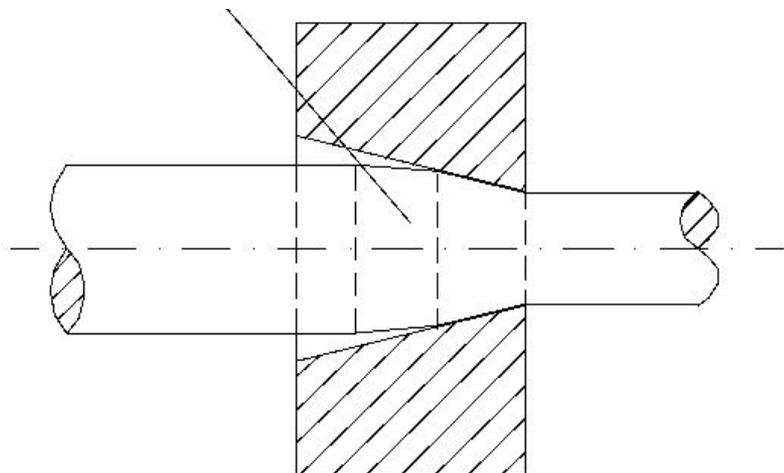


**Разъёмный образец круглого сплошного профиля для изучения характера деформации при волочении: а) в сборе, б) в разобранном виде**

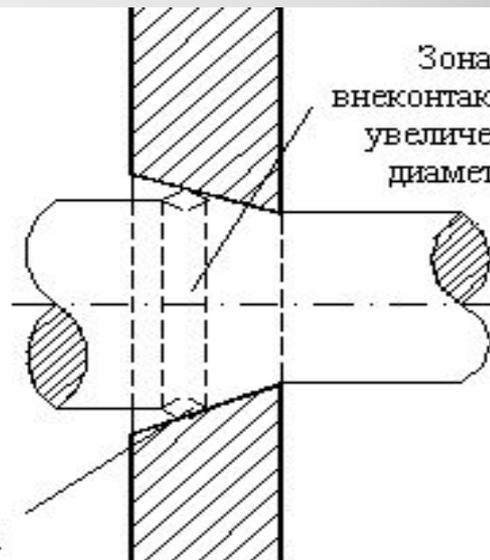


**Схема изменения координатной сетки при волочении круглого сплошного профиля через коническую волоку**

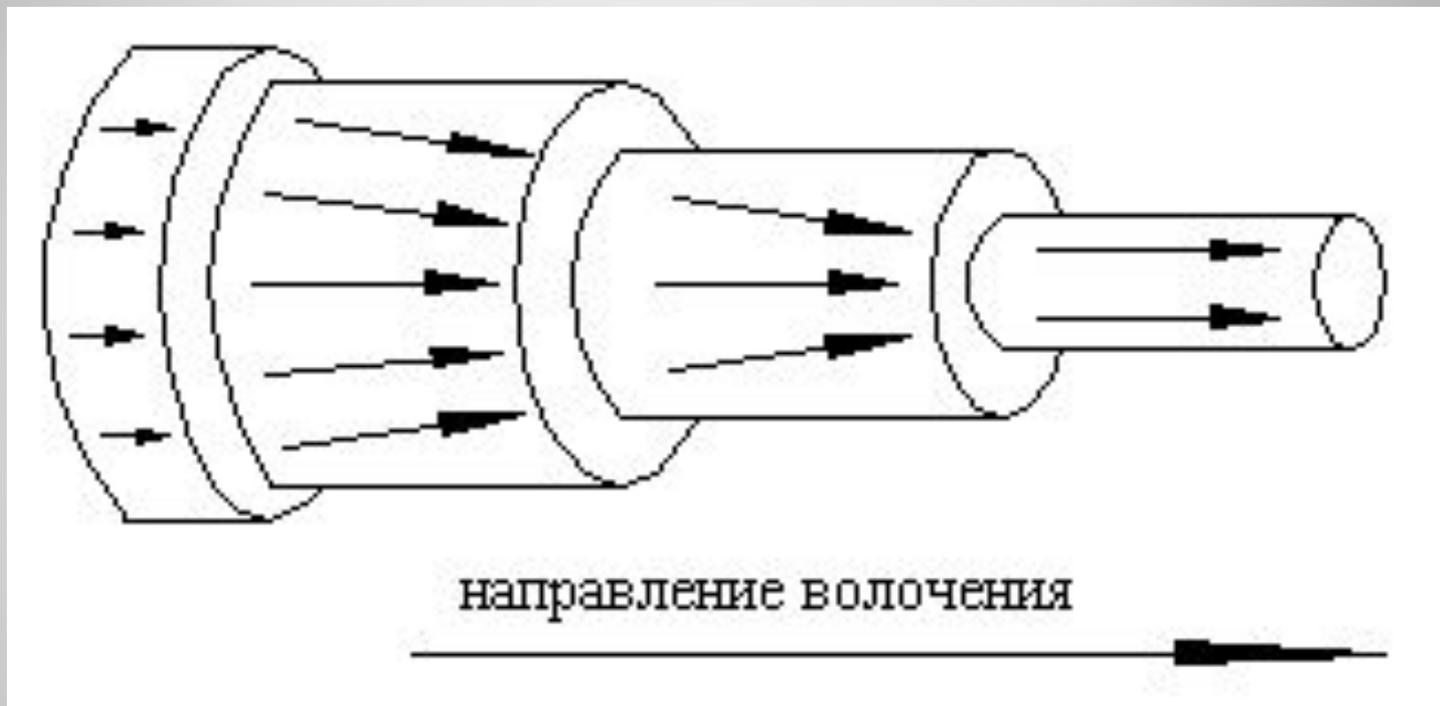
Зона внеконтактного  
уменьшения  
диаметра



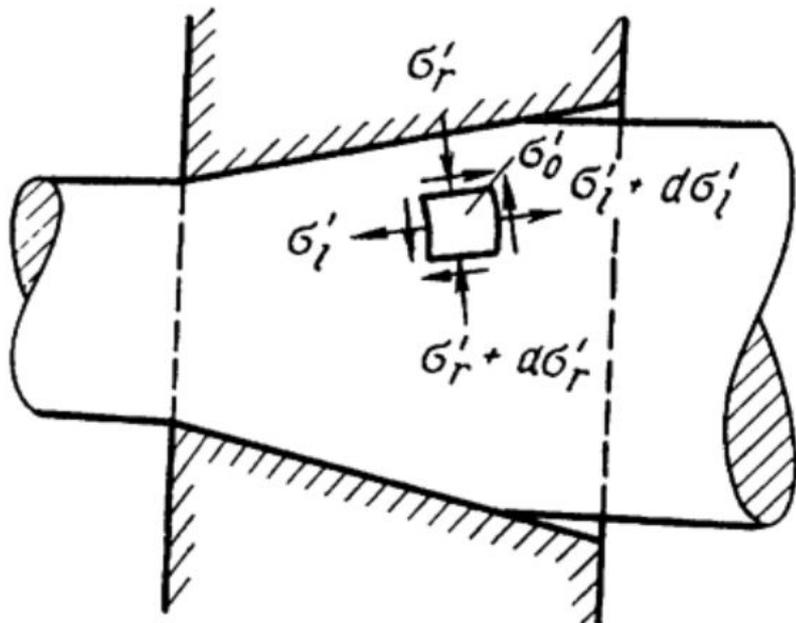
Зона  
внеконтактного  
увеличения  
диаметра



**Задняя внеконтактная зона при  
волочении**



# Схема образования текстуры при волочении круглой проволоки



$\sigma_l$  - растягивающее, по направлению к выходу из зоны;  
 $\sigma_\theta$  - сжимающее, перпендикулярное плоскости чертежа;  
 $\sigma_r$  - сжимающее, находящееся в плоскости чертежа перпендикулярно оси канала;  
 $\tau_{rl}$  - касательные, показанные на схеме стрелками без обозначений, действующие в плоскостях, нормальных к направлениям  $\sigma_l$

## Напряженное состояние деформационной зоны

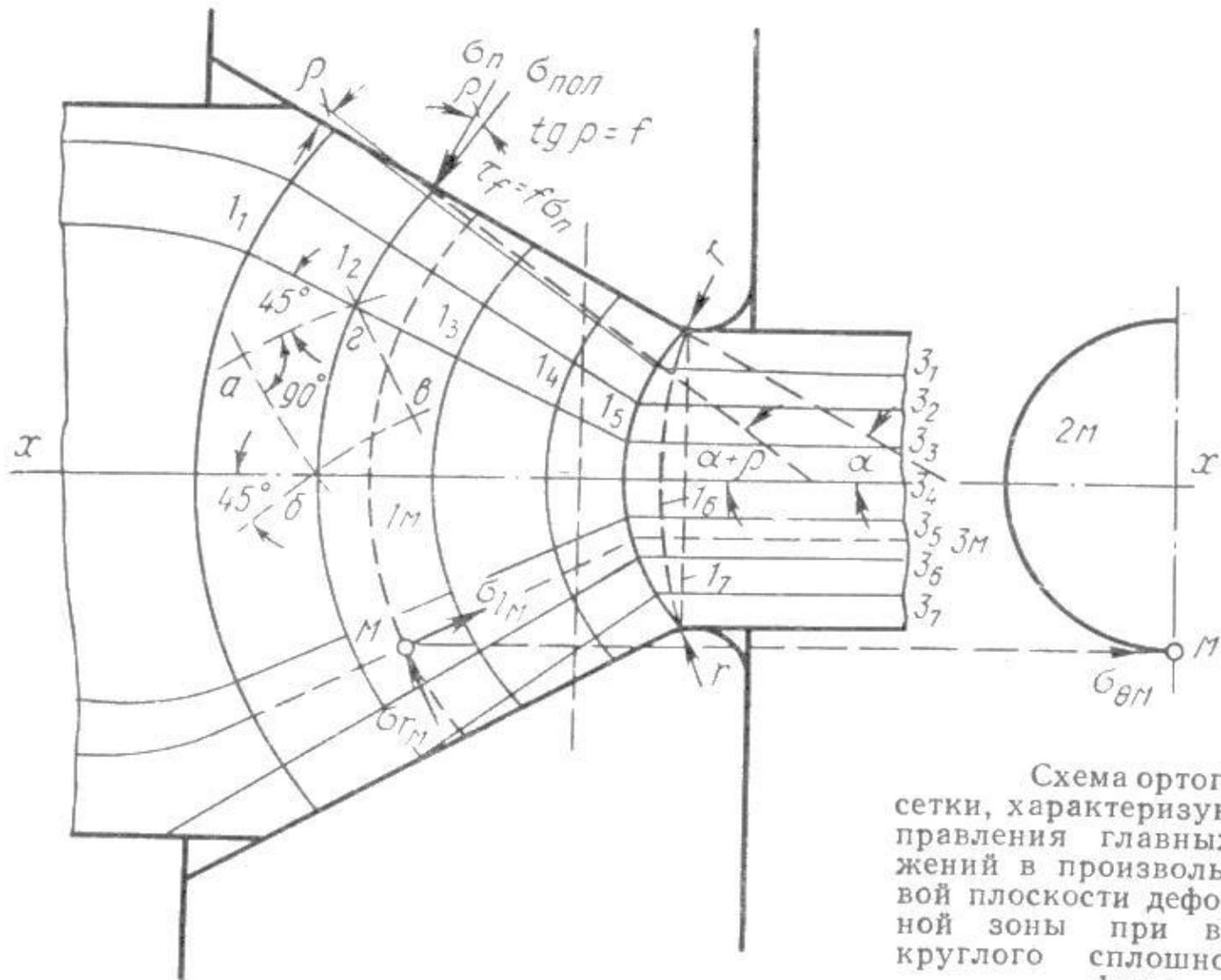
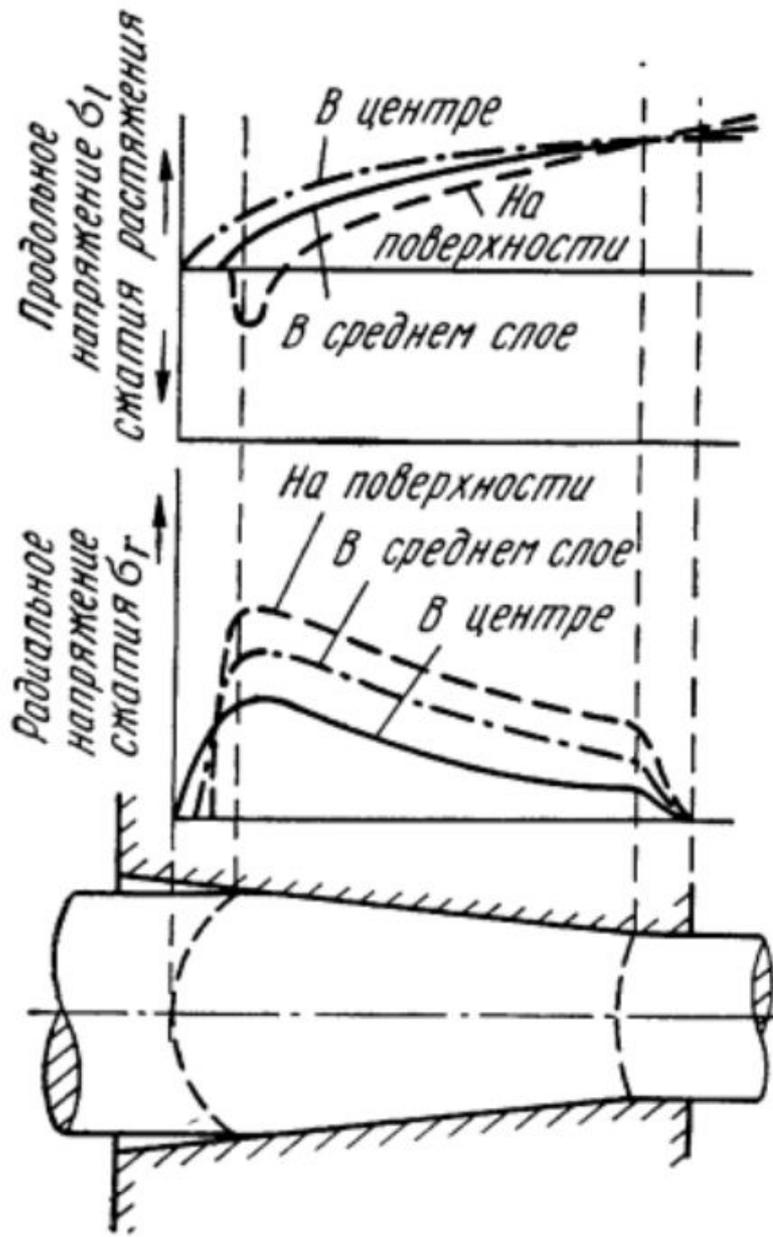
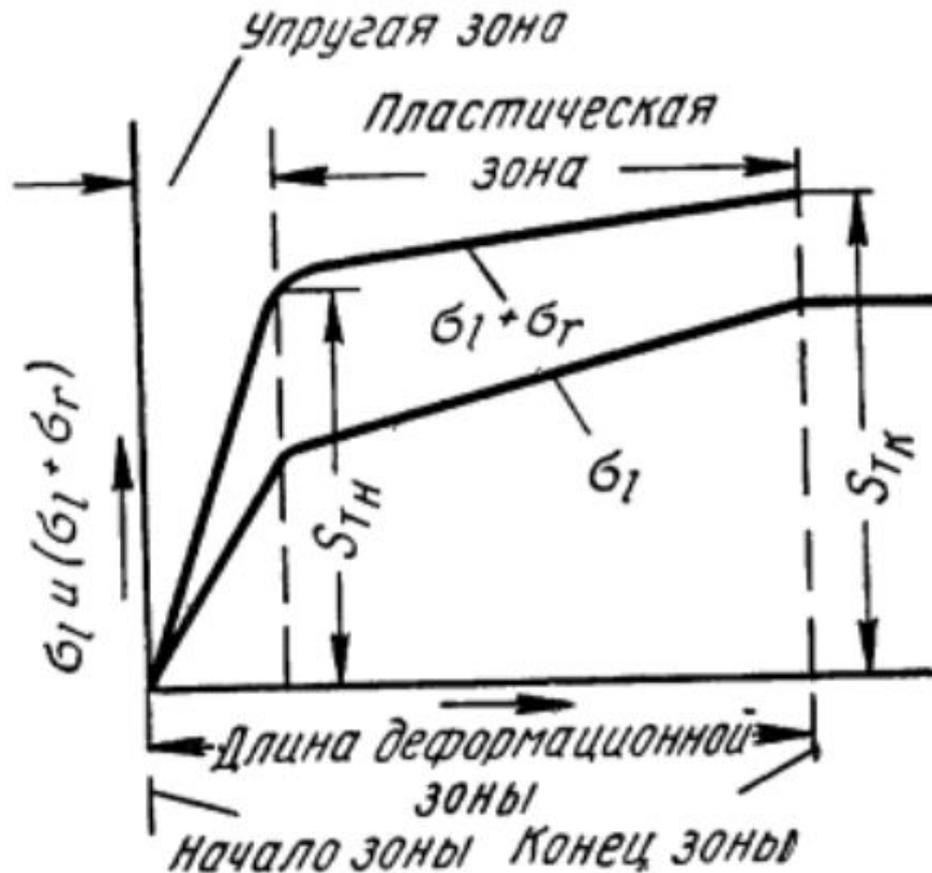


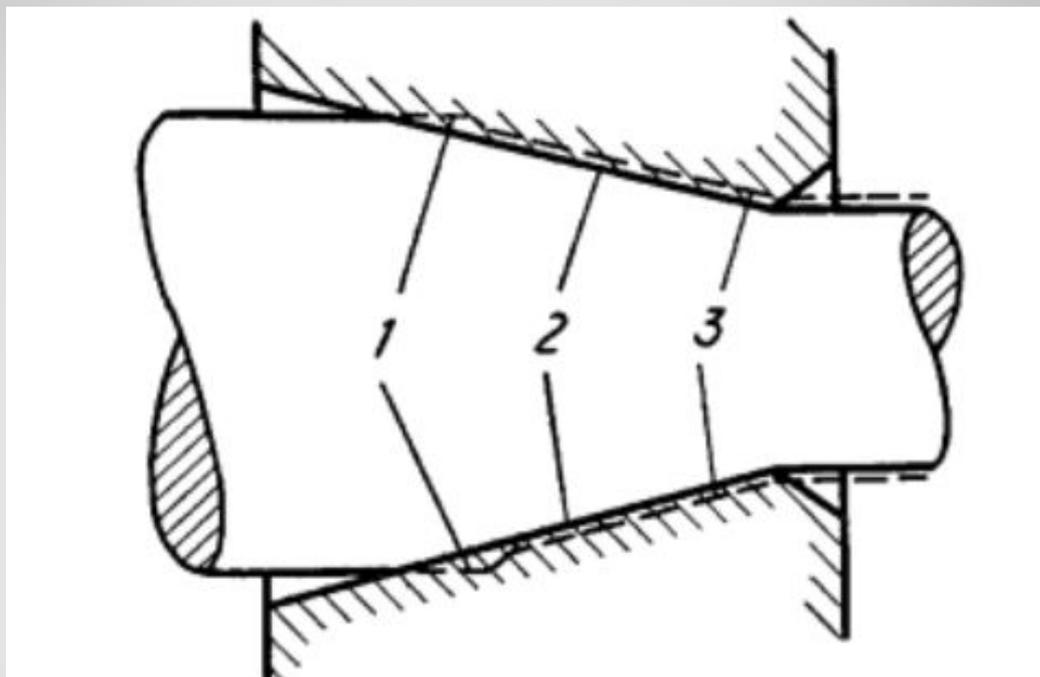
Схема ортогональной сетки, характеризующей направления главных напряжений в произвольной осевой плоскости деформационной зоны при волочении круглого сплошного профиля



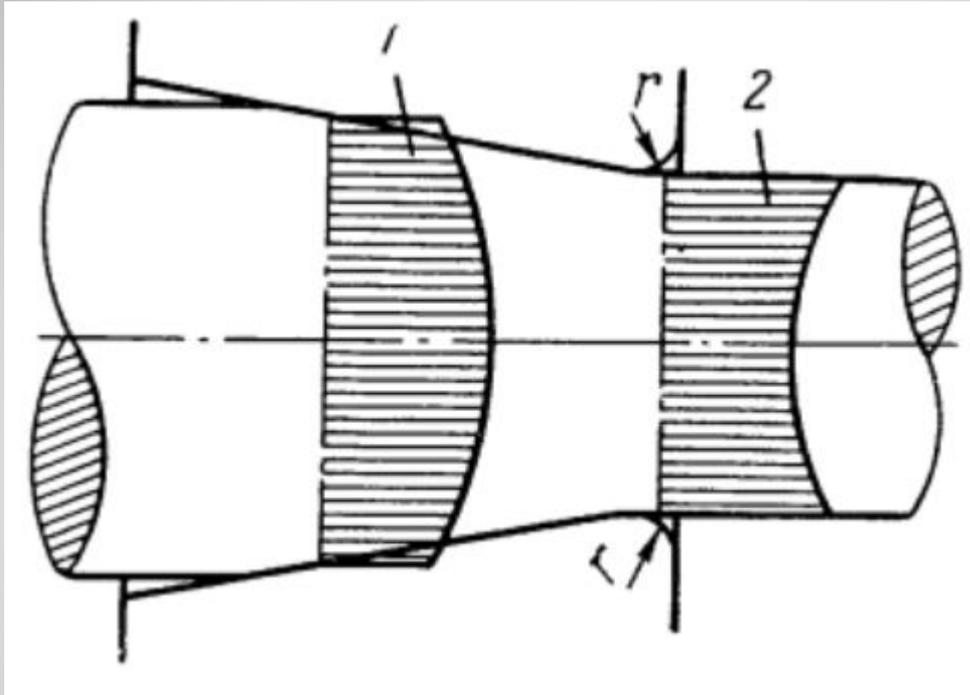
**Схема изменения радиальных и продольных напряжений в деформационной зоне**



**Схема взаимосвязи между продольными и радиальными напряжениями вдоль кольцевых слоев деформационной зоны, определяемой условием пластичности**



**Схема образования кольцевого углубления  
в начале контактной зоны волочильного  
канала**



**Схема распределения растягивающих напряжений, параллельных оси канала, по поперечным сечениям внутри деформационной зоны (1) и вне её (2)**

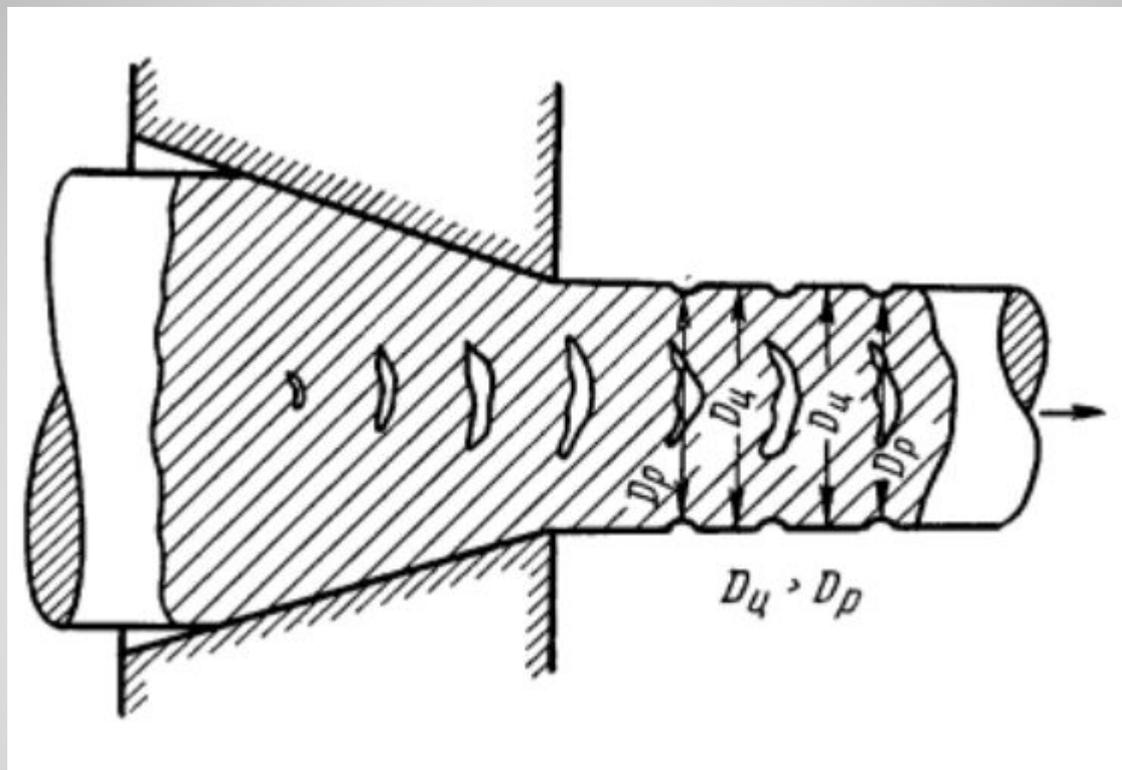
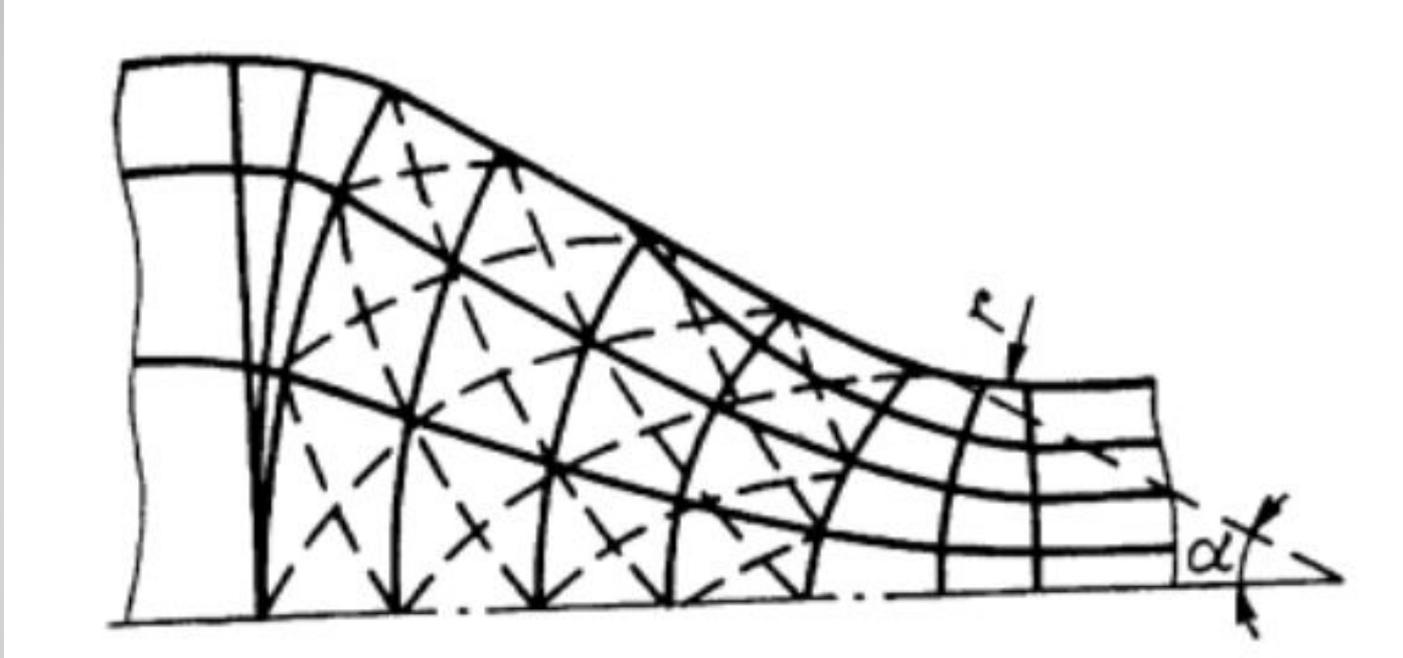
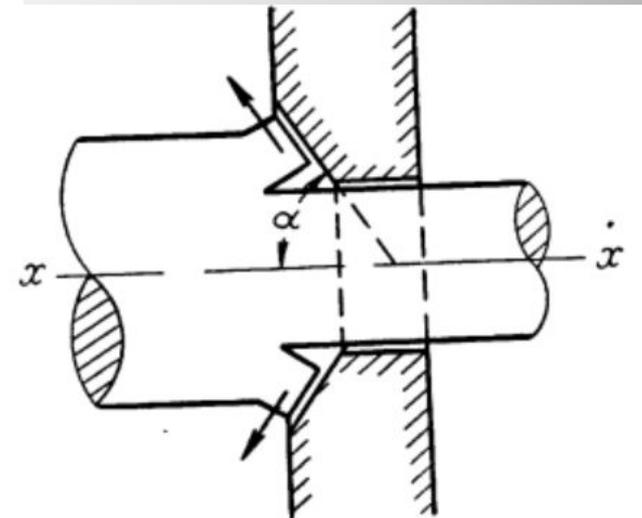
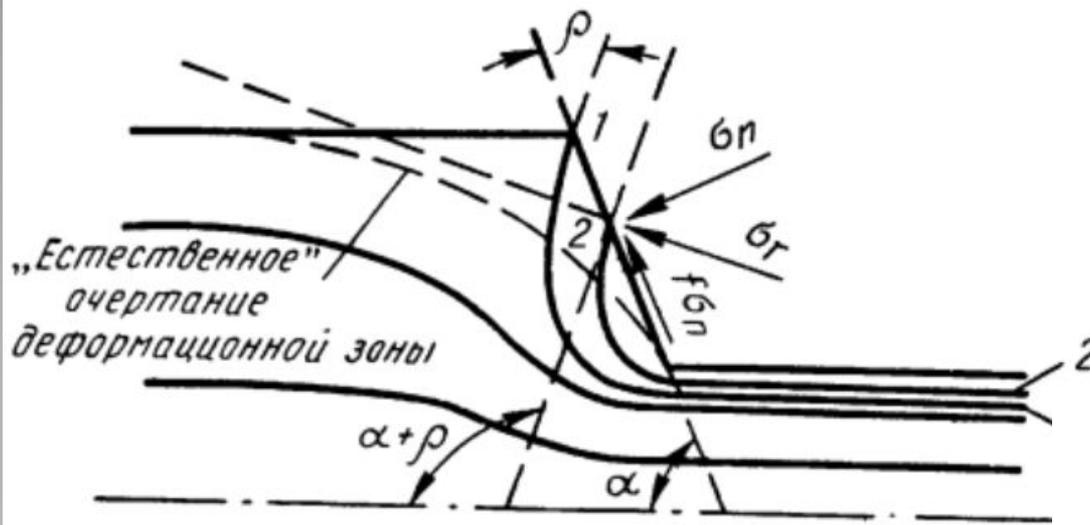


Схема образования внутренних разрывов при волочении:  
 $D_{ц}$  - диаметр целого прутка,  $D_{p}$  - диаметр прутка в месте разрыва



Сетки траекторий главных нормальных напряжений (сплошные линии) и линий скольжения (пунктирные линии), находящиеся в меридианной плоскости деформационной зоны



$$\alpha_{\max} + \rho = \frac{\pi}{2}, \text{ или}$$

$$\alpha_{\max} = \frac{\pi}{2} - \rho,$$

**Схемы к определению теоретического максимума рабочего угла волочильного канала**

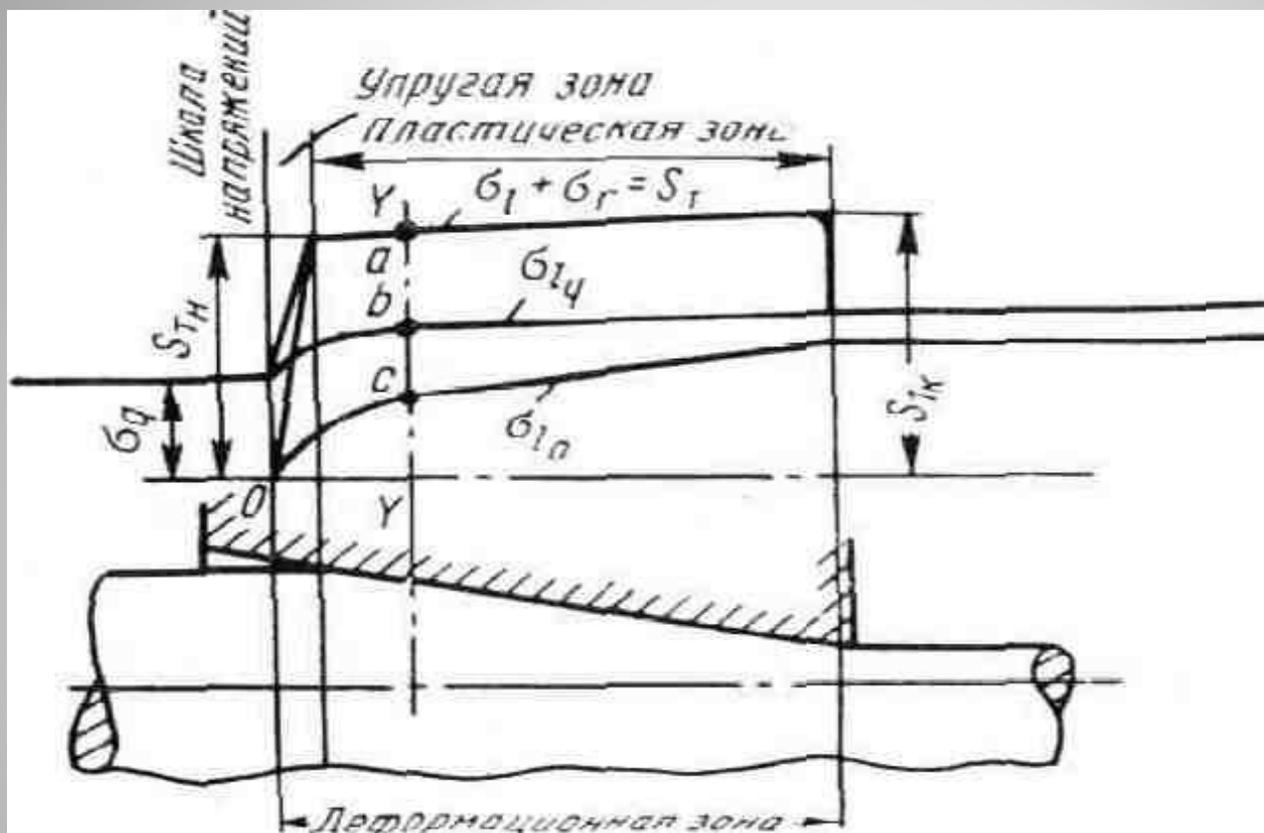
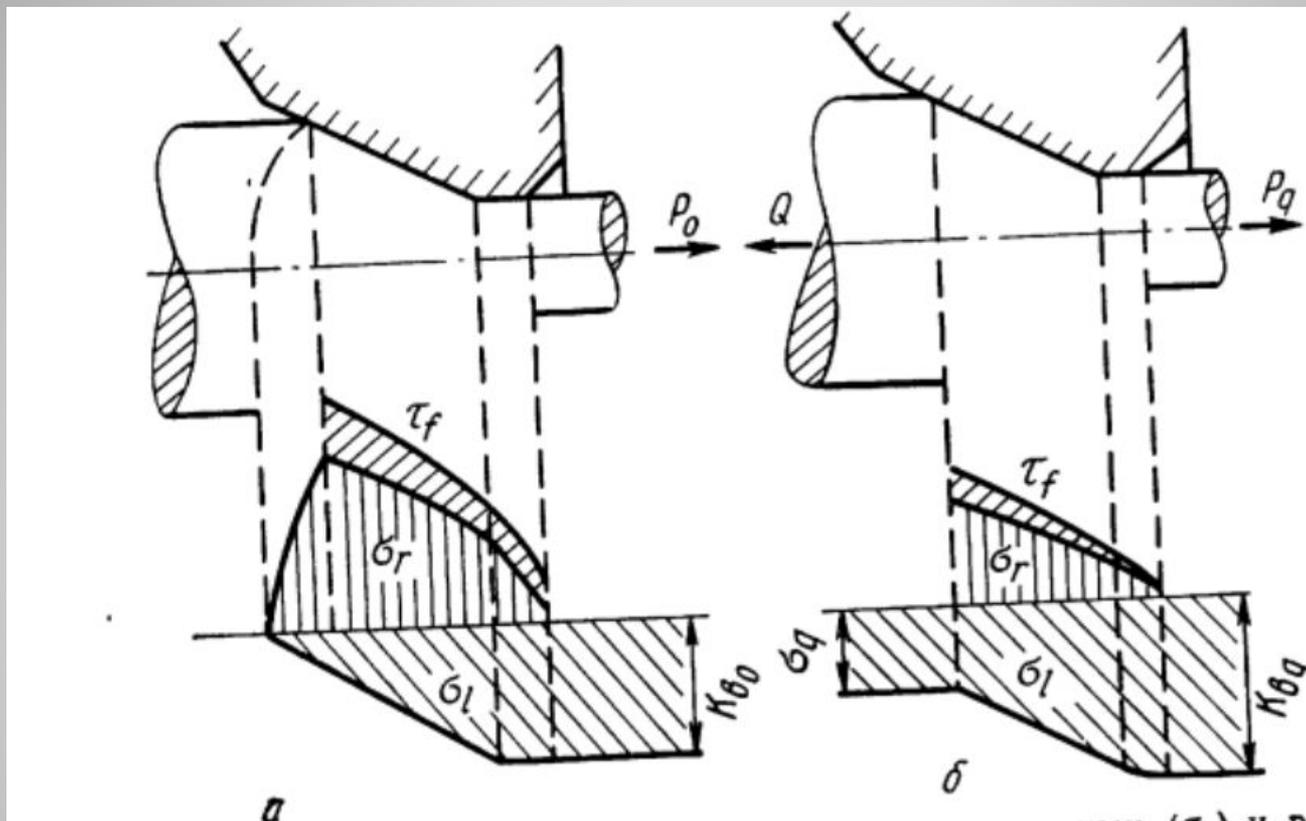


Схема изменения продольных и радиальных главных нормальных напряжений вдоль деформационной зоны при волочении с внешним противонапряжением ( $\sigma_{lq}$ ) и без него ( $\sigma_{l0}$ ) ( $\sigma_q$  — напряжение противонапряжения)



Дополнительная схема продольных ( $\sigma_t$ ) и радиальных ( $\sigma_r$ ) главных нормальных напряжений и напряжения трения ( $\tau_f$ ) в зависимости от отсутствия (а) или наличия (б) внешнего противонапряжения ( $Q$ )

$$\sigma_{вол} = \gamma A \sigma_{ТС} \left[ 1 - \left( \frac{d_{\kappa}}{d_{H}} \right)^{2a} \right] + \sigma_q \left( \frac{d_{\kappa}}{d_{H}} \right)^{2a}$$

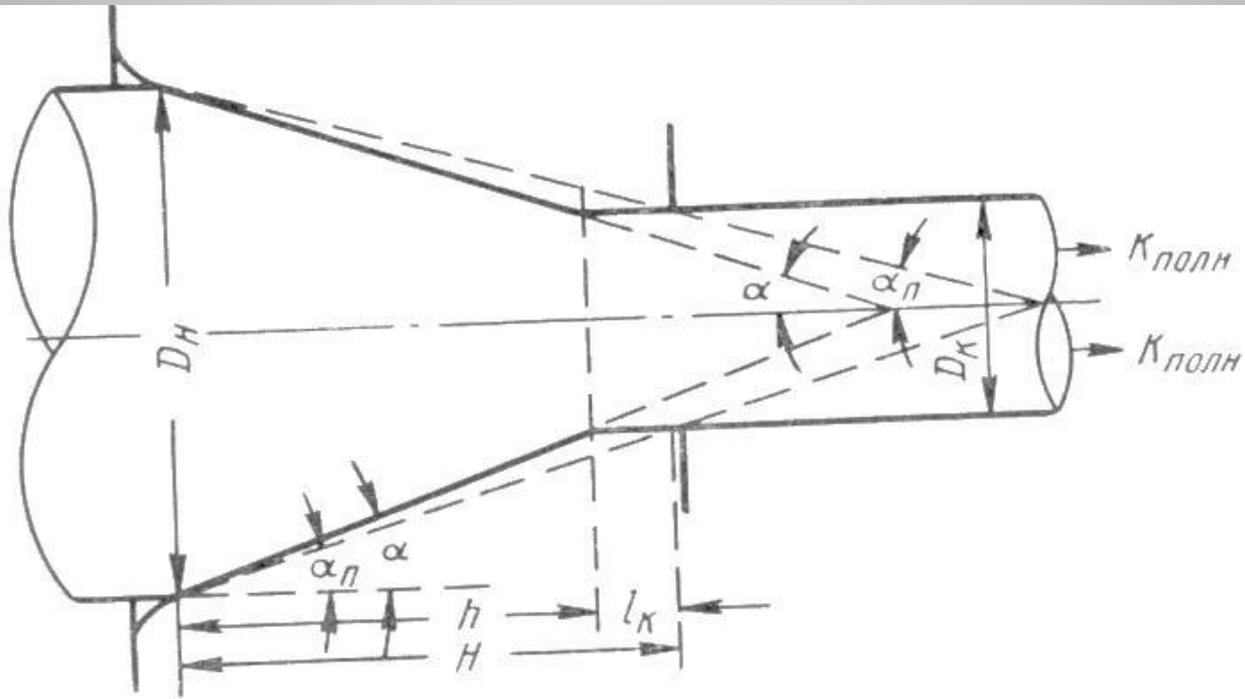
$$\gamma = \frac{1}{\cos^2 \frac{\alpha + \rho}{2}},$$

$$a = \cos^2 \rho (1 + f_n \operatorname{ctg} \alpha) - 1,$$

$$A = \frac{a + 1}{a}.$$

$$\rho = \operatorname{arctg} f_n$$

**Формула Перлина для определения  
полного напряжения волочения**



$$H = h + l_k = \frac{D_H - D_K}{2 \operatorname{tg} \alpha_n} = \frac{D_H - D_K}{2 \operatorname{tg} \alpha} + l_k,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{D_H - D_K}{2H} = \frac{(D_H - D_K) \operatorname{tg} \alpha}{(D_H - D_K) + 2l_k \operatorname{tg} \alpha},$$

# Метод приведенного угла

Формула И.Л. Перлина  $\sigma_{\text{ВОЛ}} = \gamma A \sigma_{\text{ТС}} \left[ 1 - \left( \frac{d_{\text{К}}}{d_{\text{Н}}} \right)^{2a} \right] + \sigma_q \left( \frac{d_{\text{К}}}{d_{\text{Н}}} \right)^{2a}$

Формула В.С. Смирнова и Н.П. Белоусова

$$\sigma_{\text{ВОЛ}} = \sigma_{\text{ТС}} \left[ 0,5 \ln \mu + \left( 1 + \frac{\text{tg} \alpha}{f_n} \right) \left( 1 - \mu^{-a} \right) \right] \quad \mu = \left( \frac{d_{\text{Н}}}{d_{\text{К}}} \right)^2 \quad a = \frac{f_n^2}{2\alpha(\alpha - f_n)}$$

Формула О. Павельски  $\sigma_{\text{ВОЛ}} = 0,5 \sigma_{\text{ТС}} \ln \mu (1 + f_n \text{ctg} \alpha)$

Формула С.И. Губкина  $\sigma_{\text{ВОЛ}} = \sigma_{\text{ТС}} \left[ 2 f_n a \mu^{-C_2} + \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{\mu^{C_2} - 1}{\mu^{C_2}} + \frac{2}{3\sqrt{3}} (f_n + 2 \text{tg} \alpha) \right]$

$$C_1 = \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{f_n}{\text{tg} \alpha \cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$C_2 = C_1 - 1 \quad a = \frac{l}{R_1}$$

Формула А.И. Целикова  $\sigma_{\text{ВОЛ}} = \sigma_{\text{ТС}} \left( 1 + \frac{\text{tg} \alpha}{f_n} \right) \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\sigma_q}{\sigma_{\text{ТС}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\text{tg} \alpha}{f_n}} \right) \cdot \mu^{2 \frac{f_n}{\text{tg} \alpha}} \right]$

Формула Красильщикова  $\sigma_{\text{ВОЛ}} = 0,6 \sigma_{\text{ТС}} \sqrt{\mu(\mu - 1)}$

**Другие формулы для определения напряжения волочения**