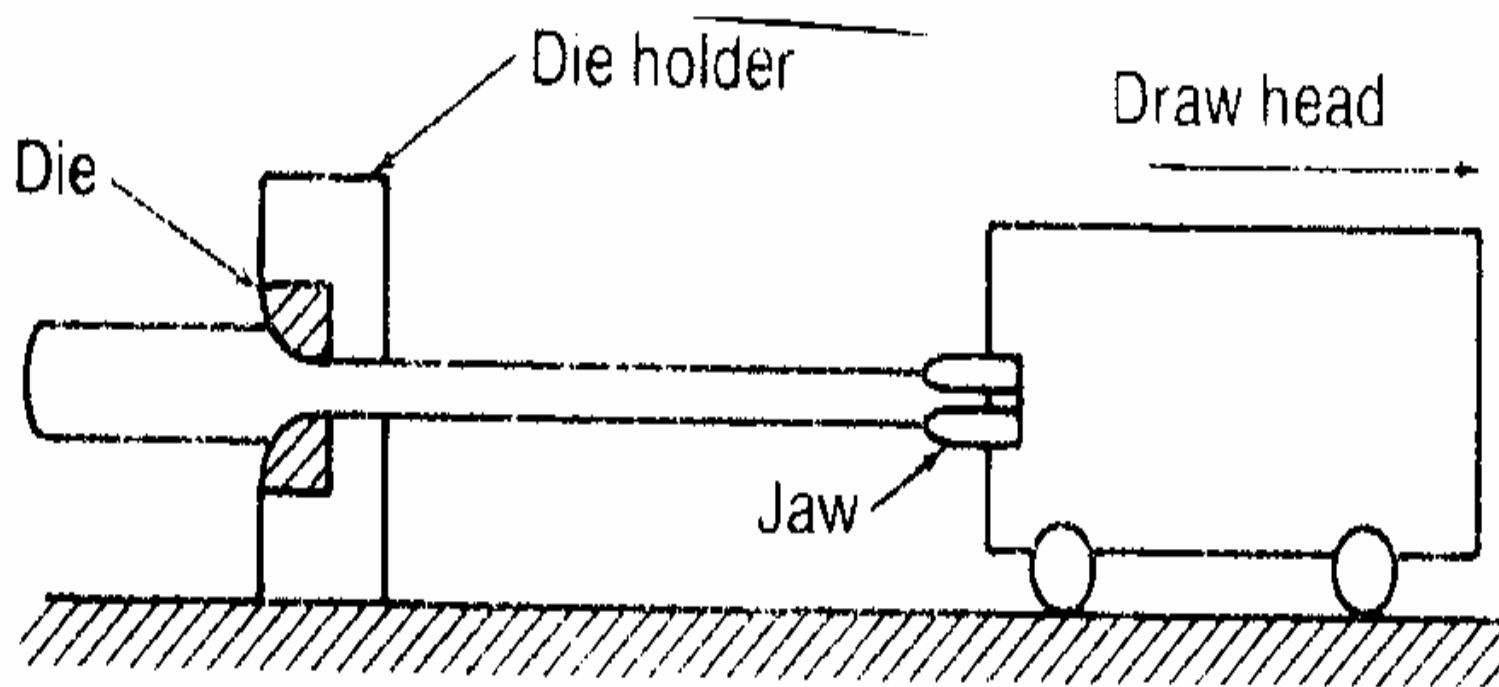


# Tõmbamine

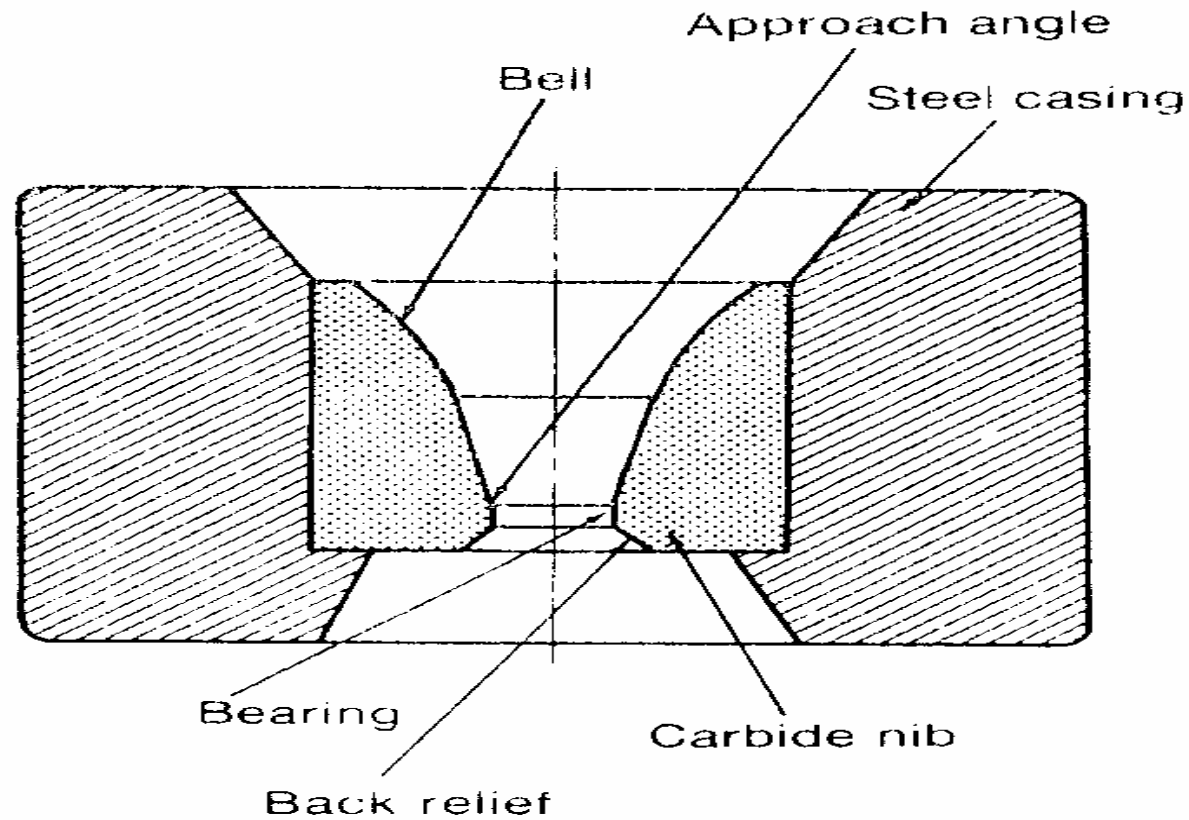
Tõmbamiseks nimetatakse metalltooriku tõmbamist läbi tõmbesilma tõbejõu abil, mis on rakendatud tõmbesilmast väljumispoolel

# Traadi ja varraste tõmbamine, skeem



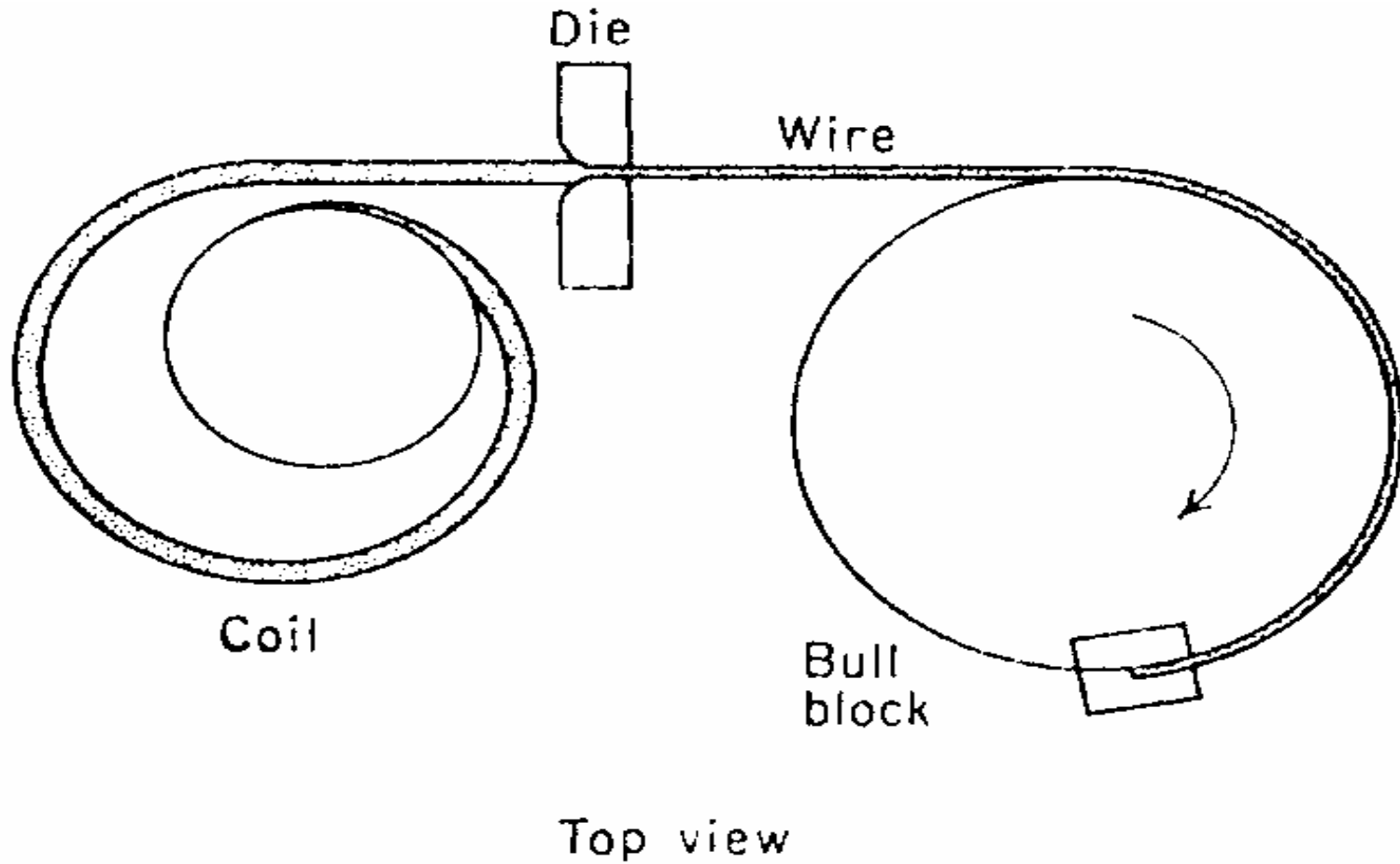
(a)

# Tõmbesilma telglõige

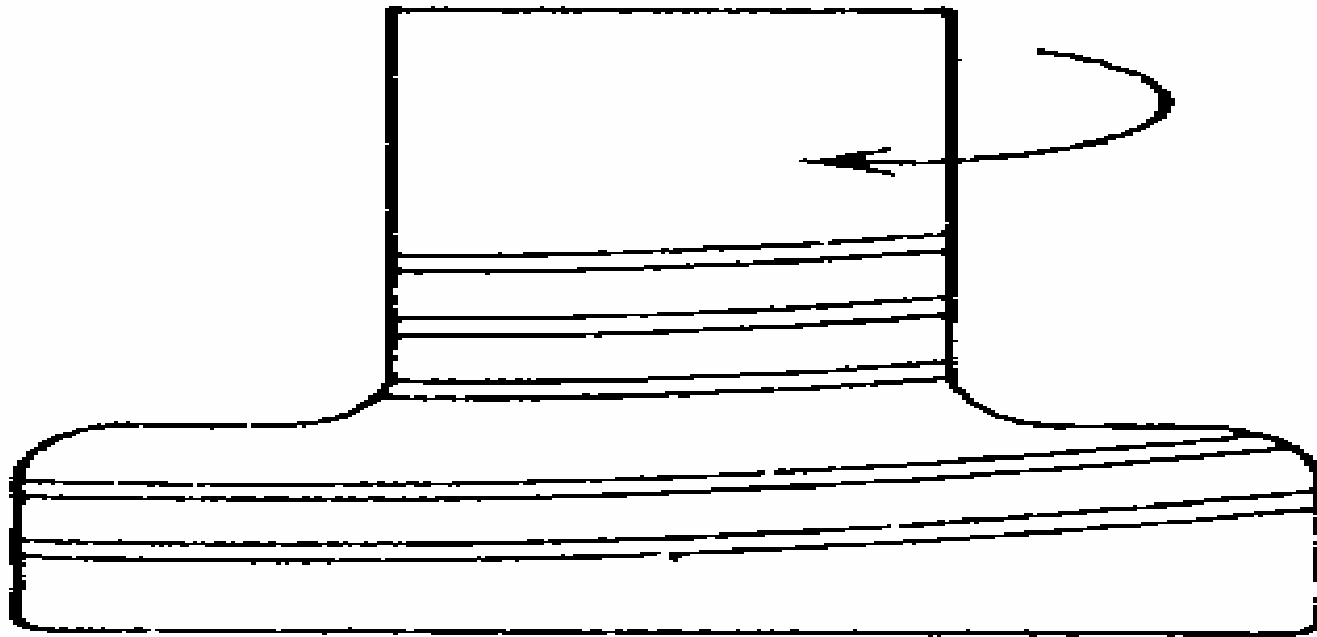


(b)

# Traaditõmbamise seadme skeem

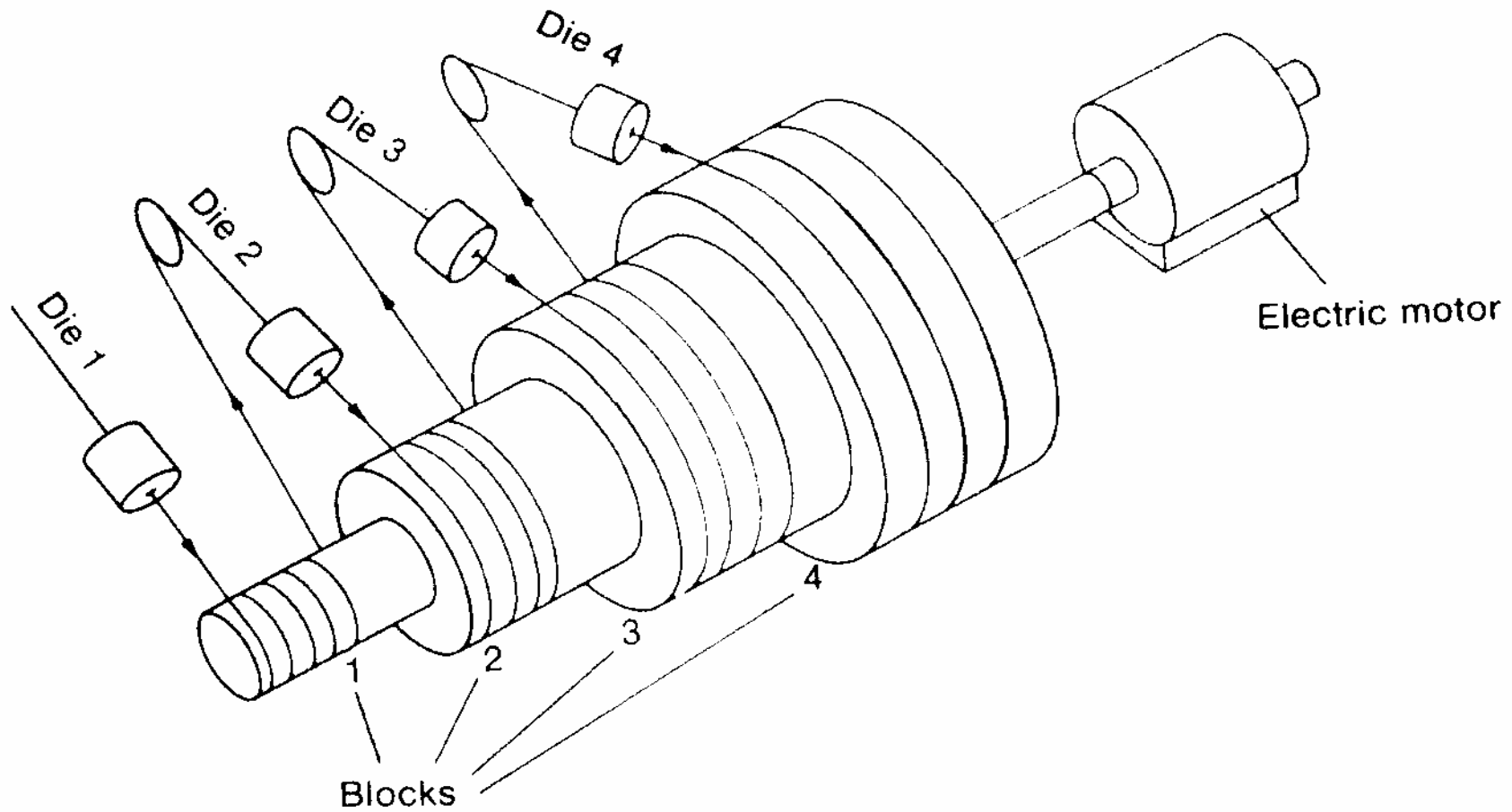


# Traaditõmbamisseadme tõmbeplokk



Side view of  
bull block

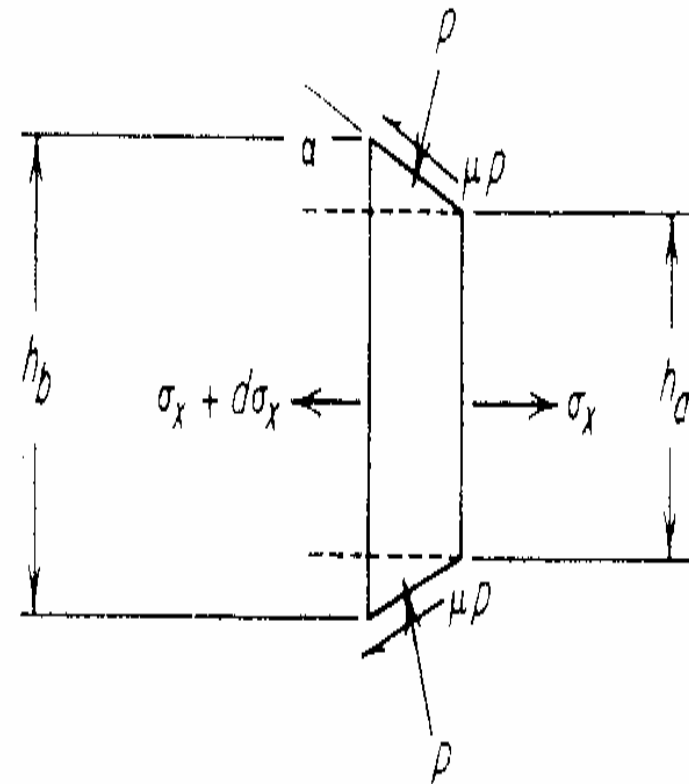
# Astmeline tõmbetrummel mitme läbimõõga traaditõmbamisel



Pingete toimimine ribaelemendile tasapinnalises  
 deformatsiooniolekus tasapinnalises deformatsiooniolekus  
 riba tõmbamisel

$$\sigma_x dh + hd\sigma_x + 2p \tan \alpha dx + 2\mu p dx = 0$$

$$\sigma_x dh + hd\sigma_x + 2p \tan \alpha dx + 2\mu p dx = 0$$



# Jõudude tasakaaluvõrrand

$$\sigma_x dh + h d\sigma_x + p(1 + \mu \cot \alpha) dh = 0. \quad (19-3)$$

Kuna voolamistingimus (pl. ting.?) tasapinnalise deformatsioonileku puhul on  $\sigma_x + p = \sigma_0'$  ja  $B = \mu \cot \alpha$ , siis diferentsiaalvõrrand riba tõmbamisel on

$$\frac{d\sigma_x}{\sigma_x B - \sigma_0'(1+B)} = \frac{dh}{h}. \quad (19-4)$$

Kui  $B$  ja  $\sigma_0'$  on mõlemad konstandid, siis võrrand (19-4) on vahetult integreeritav andes tõmbepinge  $\sigma_x$ .

$$\sigma_x = \sigma_0' \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{h_x}{h_r} \right)^B \right] = \sigma_0' \frac{1+B}{B} \left[ 1 - (1-r)^B \right] \quad (19-5)$$



# Pinged traaditõmbamisel

Ent traaditõmbamine toimub läbi koonilise tõmbesilma. Analüüs, järgides antud riba tõmbamist, kuid integreerides mööda tõmbesilma ava ringjoont, annab tulemuseks

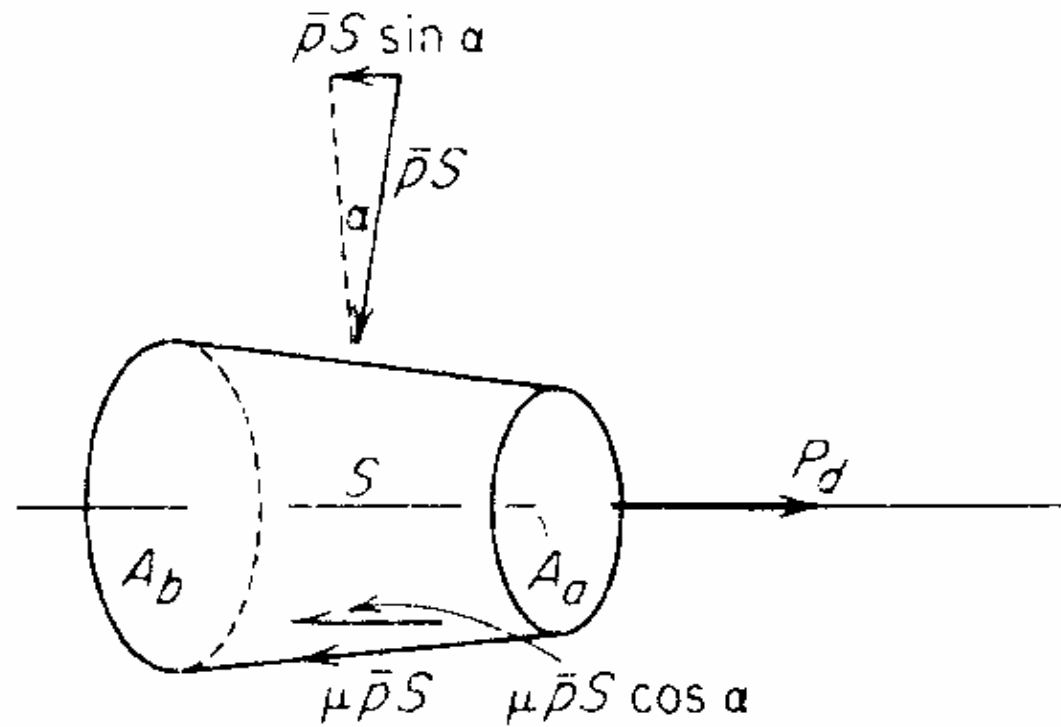
$$\sigma_{\text{is}} = \sigma_v \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{D_a}{D_t} \right)^{2B} \right]. \quad (19-6)$$

Sarnane, kuid kergelt erinev koos hõõrdumisega traaditõmbamise analüüs on antud Johnson'i ja Rowe poolt. Traadi ja tõmbesilma vahelise kontaktpinna pindala antakse seosega

$$S = \frac{A_t - A_a}{\sin \alpha} \quad (19-7)$$

ja keskmine normaalsurve sellele pinnale on  $\bar{p}$ . Teljesuunas toimiv jõud on näidatud joon.19-5.

# Jõudude toimimine koonilisele elemendile



# Tõmbejõu arvestamine

Tõmbejõud  $P_s$  on tasakaalustatud hõõrdejõu horisontaalkomponendi ja normaalsurve horisontaalkomponendi poolt.

$$P_s = \mu \bar{p} S \cos \alpha + \bar{p} S \sin \alpha \quad (19-8)$$

$$P_s = \bar{p} S (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) = \bar{p} \frac{A_t - A_s}{\sin \alpha} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$P_s = \bar{p} (A_t - A_s) (\mu \cot \alpha + 1) = \bar{p} (A_t - A_s) (1 + B) \quad (19-9)$$

Hõõrdumise puudumisel  $B = 0$  ja

$$P_s = \bar{p} (A_t - A_s) = \bar{\sigma}_v A_s \ln \frac{A_t}{A_s},$$

mis on tõepoolest võrrand (19-1). Järelikult, tõmbepinge hõõrdumisel on antav seosega

$$\sigma_{ms} = \frac{P_s}{A_s} = \bar{\sigma}_v \ln \frac{A_t}{A_s} (1 + B).$$

**Näide:** Määrata tõmbepinge 10 mm roostevabast terasest traadi tõmbamiseks ristlõike suhtelise ahenemisega 20 %. Voolavuspinge on antud seosega  $\sigma_0 = 1300\varepsilon^{0,30}$  MPa. Matriitsi nurk on  $12^\circ$  ja  $\mu = 0,09$ .

$$B = \mu \cot \alpha = 0,09 / \tan 6^\circ = 0,8571$$

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{1}{1-r} = \ln \frac{1}{1-0,2} = 0,223$$

$$\bar{\sigma} = \frac{K \varepsilon_1^n}{n+1} = \frac{1300(0,223)^{0,30}}{1,30} = 637 \text{ MPa}$$

$$A_+ = 10 \text{ mm} \quad A_- = A_+ - rA_+ = A_+(1-r) = 10 \times 0,8 = 8 \text{ mm}$$

Võrrandist (19-6)

$$\begin{aligned} \sigma_\infty &= \bar{\sigma} \left( \frac{1+B}{B} \right) \left[ 1 - \left( \frac{A_-}{A_+} \right)^B \right] = \\ &= 637 \left( \frac{1,8571}{0,8571} \right) \left[ 1 - 0,8^{0,8571} \right] = 240 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Võrrandist (19-10)

$$\sigma_{\infty} = \bar{\sigma} \ln \frac{A_b}{A_0} (1 + B) =$$

$$= 637 \ln \frac{1,0}{0,8} (1,8571) = 264 \text{ MPa}$$

Pange tähele, et saadud avaldiste vahel on ligikaudu 10 %-ne erinevus. Siiski, mõlemad prognoosivad tõmbepinge märgatavalt madalama kui üheteljeline voolavuspinge

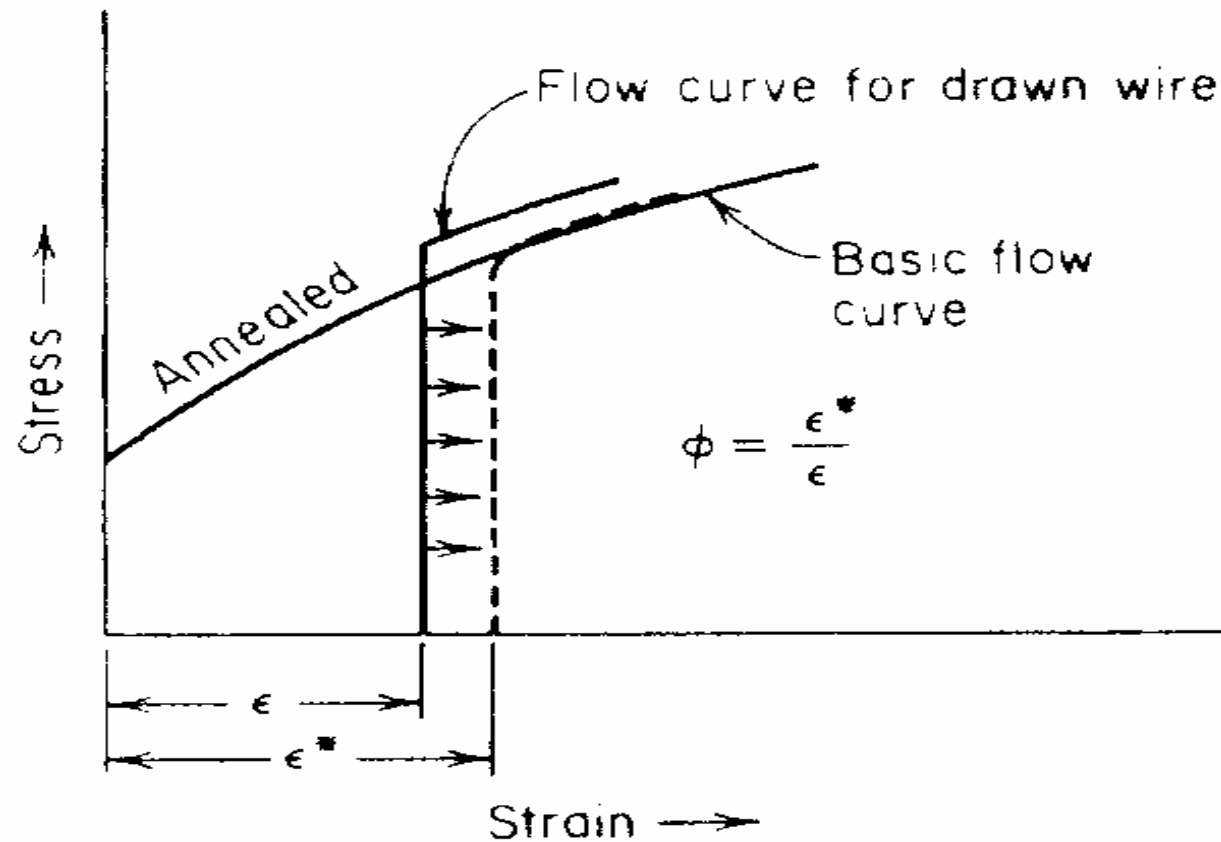
Kui traat liigub läbi matriitsi kiirusega 3 m/s, määrake vajalik võimsus deformatsiooni teostamiseks.

$$\text{Võimsus} = \text{Jõud} \times \text{läbitud tee/aeg}$$

$$\text{Tõmbejõud } F_d = \sigma_{\infty} A_0 = 240 \text{ (N/mm}^2\text{)} \times \pi/4 (8)^2 \text{ mm}^2 = 12,06 \text{ kN}$$

$$\text{Võimsus} = 12,06 \text{ kN} \times 3 \text{ m/s} = 36,18 \text{ kW}$$

# Toimimisviis tõmmatud traadi liigdeformatsiooni määramiseks



# Liigdeformatsioon...

Võrrand (19-10) sisaldab väljendi ühtlase deformatsioonenergia ja väljendi hõõrdeenergia kohta. Liigdeformatsiooni (Redundant deformation ?) võib arvestada juurdelisatud teguriga  $\phi$ , mis annab võimaluse liig(redundant?) deformatsiooni mõju arvestamise materjali voolavuspinge tõstmisel.

$$\sigma_{\infty} = \phi \bar{\sigma}_0 \ln \frac{A_b}{A_0} (1 + B) \quad (19-11)$$

Liigtöö (redundant work?) tegur on määratletud seosega

$$\phi = f(\alpha, r) = \frac{\varepsilon^*}{\varepsilon}, \quad (19-12)$$

$$\sigma_{\infty} = \sigma_0 \frac{\left\{ 2f(\alpha) \ln \frac{R_t}{R_c} + \frac{2}{\sqrt{3}} \left( \frac{\alpha}{\sin^2 \alpha} - \cot \alpha \right) + 2\mu \left[ \cot \alpha \left[ 1 - \ln \frac{R_t}{R_c} \right] \ln \frac{R_t}{R_c} + \frac{L}{R_c} \right] \right\}}{1 + 2\mu(L/R_c)}, \quad (19-13)$$

kus  $f(\alpha)$  - tõmbesilma poolnurga liitfunktsioon;

$L$  - kalibreerimistsooni (-vöö) pikkus;

$R_t$  - tooriku raadius;

$R_c$  - traadi raadius.

Vähem keeruline, kuid veel kasutatav avaldis, mis rajaneb ülemise hinnangu meetodil, sisaldab liigtöö (red.w.) väljendi -  $2/3 \tan \alpha$ .

$$\sigma_{\infty} = \sigma_0 \left[ \left( 1 + \frac{m}{\sin 2\alpha} \right) \ln \frac{R_t}{R_c} + \frac{2}{3} \tan \alpha \right], \quad (19-14)$$

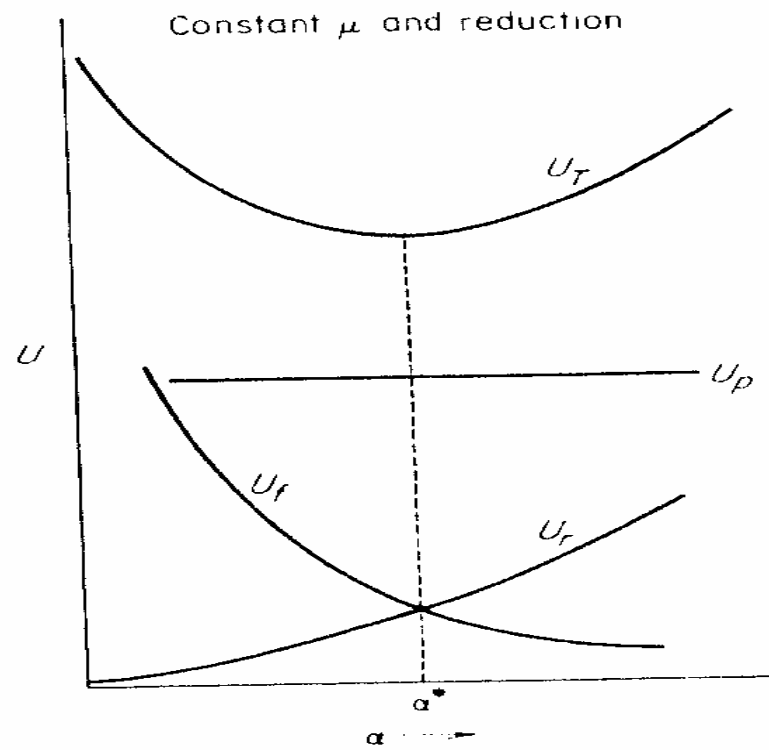
kus  $m$  - hõõrdetegur, s.t.  $\tau_1 = km$ .

Deformatsioonikolde geometria mõiste tagab sobiva meetodi liigtöö (red.w. ?) käsitlemiseks traaditõmbamisel. Ümmarguse traadi tõmbamisel

$$\Delta = \frac{\alpha}{r} \left[ 1 + (1 - r)^{1/2} \right], \quad (19-15)$$



$$\phi = C_1 + C_2 \Delta = 0,8 + \frac{\Delta}{4,4}$$



# Tõmmatavuse piiri kujunemine

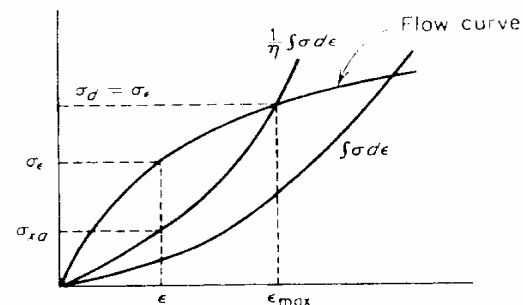
$\alpha$  optimaalne väärtus on vastavuses deformatsiooni üldenergia või tõmbepinge miinimumiga. Seda võib samuti väljendada  $\Delta$  optimaalse väärtuse terminites.

$$\Delta_{opt} \approx 4,9 \left[ \frac{\mu}{\ln(1/1-r)} \right]^{1/2}. \quad (19-17)$$

Püüame nüüd uurida tõmmatavuse piiri statsionaarsel traaditõmbamisel. Võrrandi (19-11) võib avaldada palju lihtsamalt seosega

$$\sigma_w = \frac{1}{\eta} \int \sigma d\epsilon, \quad (19-18)$$

kus  $\eta = U_p / U_T$  on deformatsiooniprotsessi kasutegur.



# Näide

**Näide:** Milline on suurim võimalik ahenemine eelmises näites tõmmatud materjali puhul ?

Esmasel lähenemisel piiriline tõmbeahenemine leiab aset, kui  $\sigma_{\infty} = \bar{\sigma}$ .

$$\sigma_{\infty} = \sigma_0 \left( \frac{1+E}{E} \right) \left[ 1 - (1-r)^{\varepsilon} \right]$$

$$637 = 637 \left( \frac{1,8571}{0,8571} \right) \left[ 1 - (1-r)^{0,8571} \right]$$

$$1 = 2,167 \left[ 1 - (1-r)^{0,8571} \right]; \quad r = 0,51 \quad \text{või} \quad \varepsilon = \ln \frac{1}{1-r} = 0,71$$

$$\sigma_0 = 1300 \varepsilon^{0,30} = 1300 (0,7)^{0,30} = 1173 \text{ MPa}$$

Parem kalkuleerimine on lubada  $\sigma_{\infty} = \sigma_0$   $\varepsilon = 0,71$  juures, s.t.  $\sigma_{\infty} = 1173 \text{ MPa}$

# Teljesuunalised jääkpinged külmtõmmatud messingtraadis

