Hátrafolyatás
Hengerlés

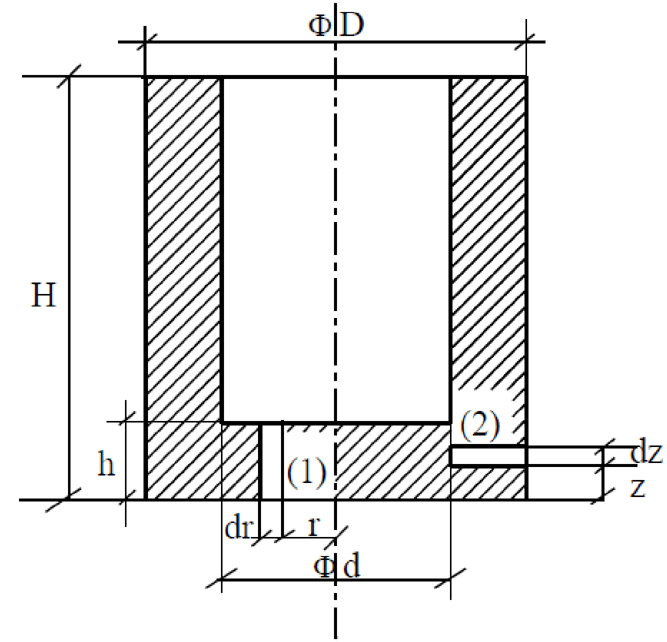
Alakítótechnológiák elmélete
(BMEGEMTNG00)

Témakörök

- Hátrafolyatás
- Hengerlés

Hátrafolyatás

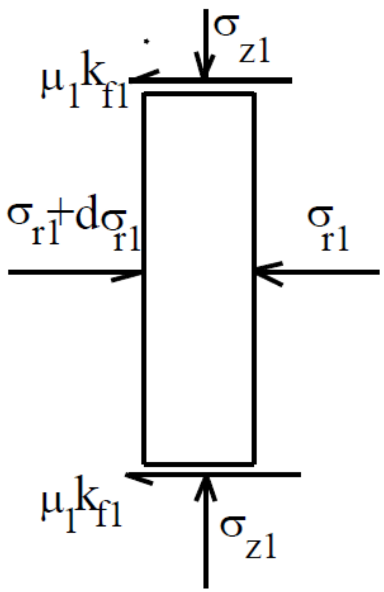
Átlag feszültség módszere. Két zónára bontva a darab térfogatát: (1) zömített hengeres rész és (2) a szerszám sarkában, a folyatott fal alatt található gyűrű alakú anyagész.



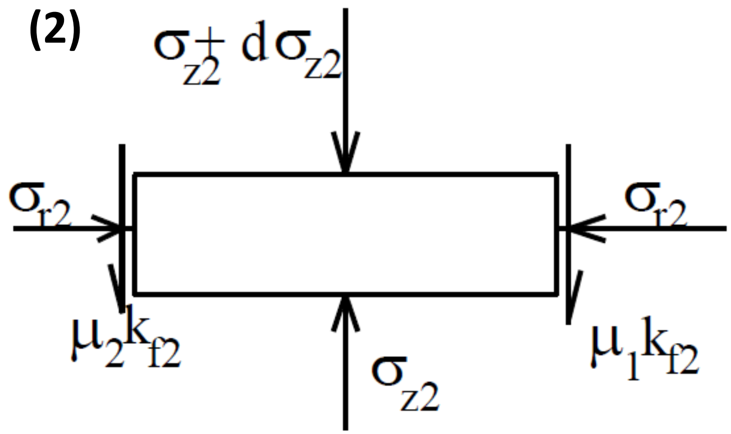
Dipper szerinti elemzés

A kijelölt térfogati részekre ható erők:

(1)



(2)

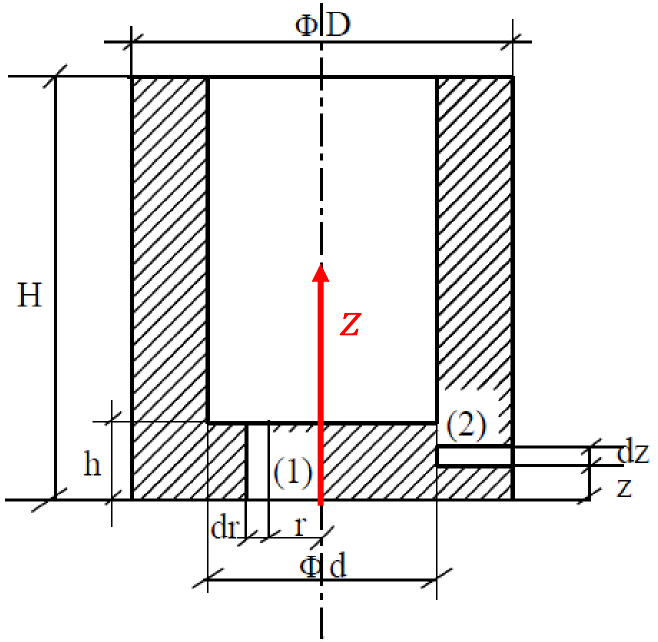


A középátmérő: $D_k = \dfrac{D+d}{2}$ A falvastagság: $s = \dfrac{D-d}{2}$ $\longrightarrow$ $D^2 - d^2 = 4 D_k s$

A (2) jelű térfogatelemre a statikai egyensúlyi egyenlete a tengely (z) irányban.

$$(\sigma_{z2} + d\sigma_{z2} - \sigma_{z2})\frac{D^2 - d^2}{4}\pi - 2\mu k_{f2} D_k \pi dz = 0$$

Coulomb súrlódási modell
Egyszerűsítés(!)

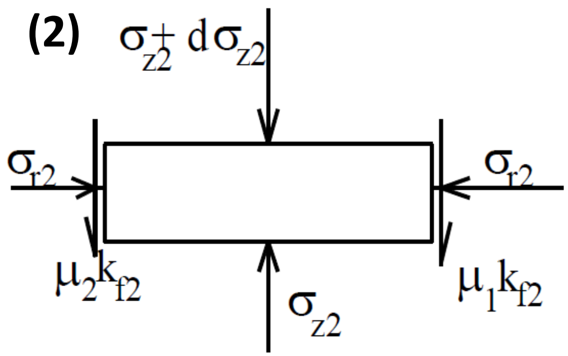


$$\mu = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$$

$$\mu_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}577$$

μ_1 - Coulomb súrlódási együttható a darab és a szerszám fala között.

Tapadási súrlódás (!)

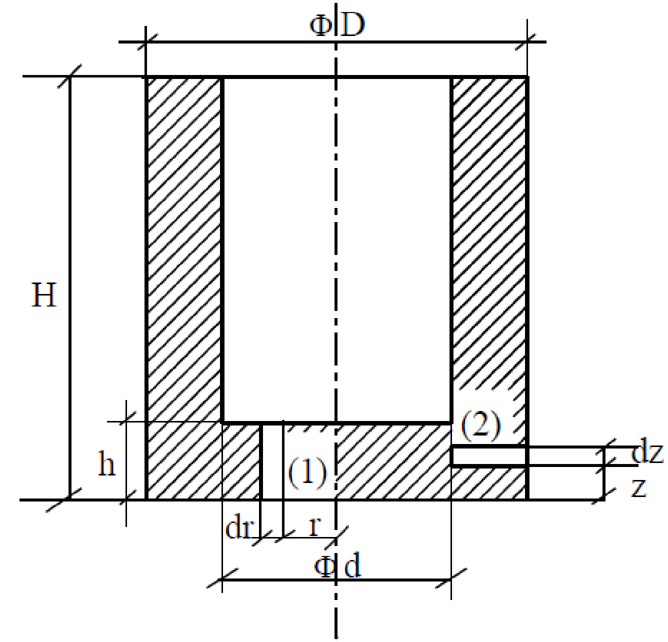


Egyszerűsítve, a geometriai összefüggések figyelembe vételével:

$$-d\sigma_{z2} = \frac{2\mu k_{f2}}{s} dz$$

Hátrafolyatás

$$-d\sigma_{z2} = \frac{2\mu k_{f2}}{s} dz \xrightarrow{\textit{Integrálva}} -\sigma_{z2} = \frac{2\mu k_{f2}}{s} z + C$$



Peremfeltétel:

$$z = h \qquad \sigma_{z2} = 0$$

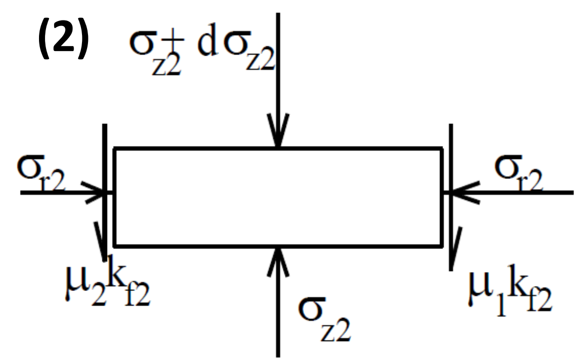
A hátrafolyatott falrész terheletlen

$$C = -\frac{2\mu k_{f2}}{s} h$$

így:

$$\sigma_{z2} = -\frac{2\mu k_{f2}}{s}(h - z)$$

Ennek a $D_k \pi h$ hengerfelületre számított σ_{z2m} átlaga az alábbi szerint számítható:



A k_{f2} értéke állandó.

$$\sigma_{z2m} D_k \pi h = \int_0^h -\frac{2\mu k_{f2}}{s}(h - z) D_k \pi dz$$

$$\sigma_{z2m} = -\mu k_{f2} \frac{h}{s}$$

Ezt a feszültségkomponenst használjuk a folyási feltétel vizsgálatához.

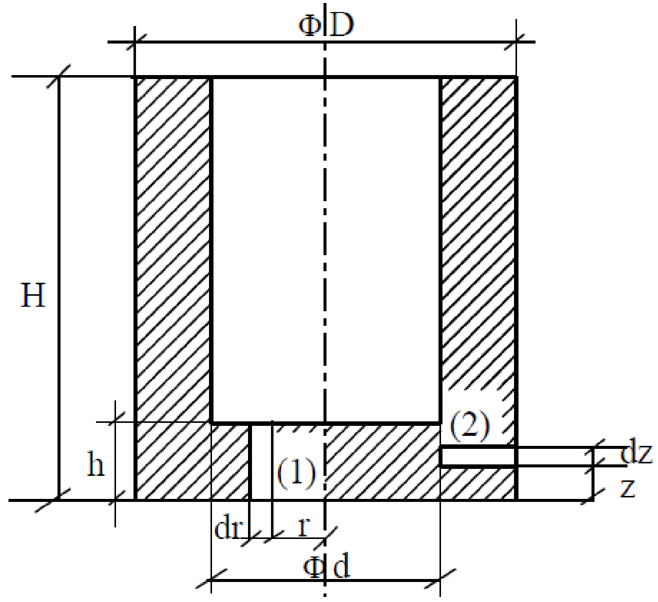
Hátrafolyatás

A folyási feltétel vizsgálata:

$$\sigma_{z2m} = -\mu k_{f2}\frac{h}{s}$$

$$\sigma_{z2m} - \sigma_{r2m} = k_{f2}$$

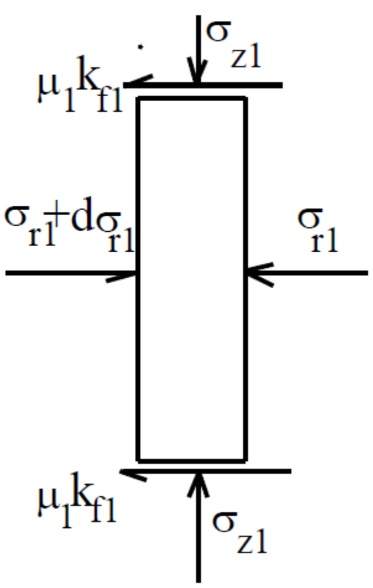
$$\boxed{\sigma_{r2m} = \sigma_{z2m} - k_{f2} = -k_{f2}\left(\mu\frac{h}{s} + 1\right)} \quad (1)$$



Az (1) jelű térfogatelem statikai egyensúlyi egyenlete az *r* irányban.

$$\left(\sigma_{r1} - \left(\sigma_{r1} + d\sigma_{r1}\right)\right)2\pi rh + 2\mu_1 k_{f1} 2\pi r dr = 0$$

(1)

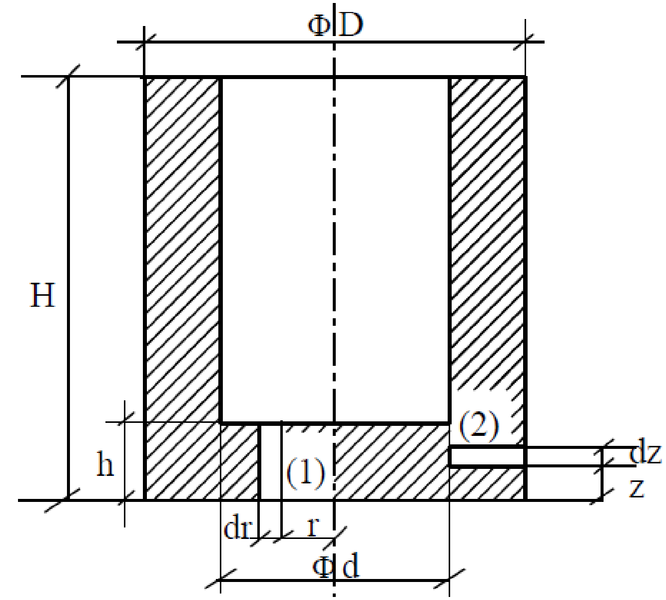


Ebből a differenciál egyenlet:

$$-d\sigma_{r1} = -2\mu_1 k_{f1}\frac{dr}{h} \xrightarrow{\textit{Integrálva}} \sigma_{r1} = 2\mu_1 k_{f1}\frac{r}{h} + C$$

Hátrafolyatás

Peremfeltétel: hogy az *r = d/2* helyen a radiális feszültségnek azonos nagyságúnak kell lennie a szomszédos zóna radiális feszültségével:

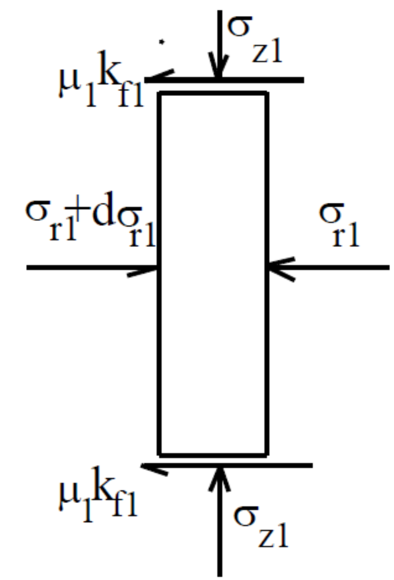


$$+2\mu_1 k_{f1}\frac{d}{2h} + C = \sigma_{r2m} \longrightarrow C = \sigma_{r2m} - 2\mu_1 k_{f1}\frac{d}{2h}$$

Így: $$\sigma_{r1} = \sigma_{r2m} - \frac{2\mu_1 k_{f1}}{h}\left(\frac{d}{2} - r\right)$$

(1) $\longrightarrow$ $$\sigma_{r1} = -k_{f2}\left(\mu\frac{h}{s} + 1\right) - \frac{2\mu_1 k_{f1}}{h}\left(\frac{d}{2} - r\right)$$

(1)



Ennek a folyató bélyeg alatti felületre számított σ_{r1m} átlaga az alábbi szerint számítható:

A k_{f1} értéke állandó.

$$\sigma_{r1m}\frac{d^2\pi}{4} = \sigma_{r2m}\frac{d^2\pi}{4} - \frac{2\mu_1 k_{f1}}{h}\int_0^{d/2}\left(\frac{d}{2} - r\right)2r\pi dr$$

$$\sigma_{r1m} = \sigma_{r2m} - \frac{\mu_1 k_{f1}}{3}\frac{d}{h}$$

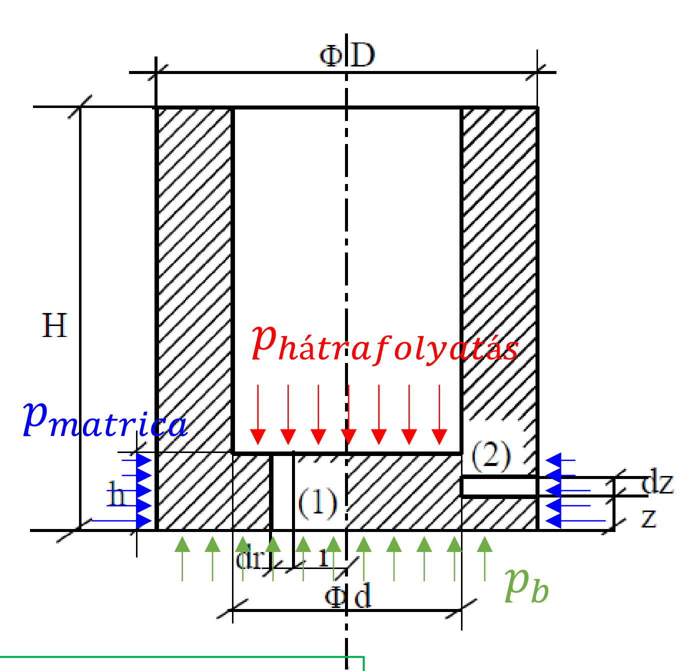
Ezt a feszültségkomponenst használjuk a folyási feltétel vizsgálatához.

Hátrafolyatás

A folyási feltétel vizsgálata:

$$\sigma_{r1m} = \sigma_{r2m} - \frac{\mu_1 k_{f1}}{3}\frac{d}{h}$$

$$\sigma_{r1m} - \sigma_{z1m} = k_{f1}$$



Ebből a folyató bélyeg alatti tengelyirányú átlagfeszültség számítható, ami a hátrafolyatási folyamat alakítási ellenállása

$$\sigma_{z1m} = \sigma_{r1m} - k_{f1} = -p_{hátrafolyatás} = -k_{f1}\left(1 + \frac{\mu_1}{3}\frac{d}{h}\right) - k_{f2}\left(1 + \mu\frac{h}{s}\right)$$

Az erőszükséglet:

$$F = p_{hátrafolyatás}\frac{d^2\pi}{4} = p_b\frac{D^2\pi}{4}$$

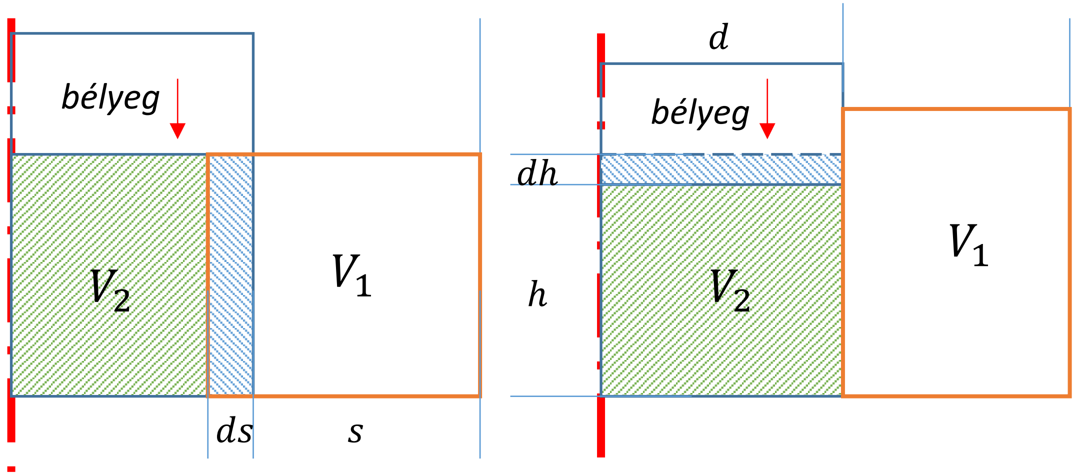
fenéknyomás

$$k_{f1} = k_f(\varphi_1) \qquad \varphi_1 = \ln\frac{h_0}{h}$$

$$k_{f2} = k_f(\varphi_2) \qquad \varphi_2 = \varphi_1 + \varphi_1\frac{d}{8s}$$

Hátrafolyatás

A dh bélyegelmozdulással a V_1 térfogatrész radiálisan zömül. A V_1 térfogatrész belső sugara ds-sel nő. A satírozott térfogatok megegyeznek.



$$V_2 = V_2$$

$$(h+dh)\frac{(d-2ds)^2\pi}{2} = h\frac{d^2\pi}{4}$$

$$(h+dh)(d-2ds)^2 = hd^2$$

$$(h+dh)(d^2-4d\,ds+\cancel{4ds^2}) = hd^2$$

$$\approx 0 \approx$$

$$hd^2 - 4hds + d^{2dh} - \cancel{4d\,ds\,dh} = hd^2$$

$$h - 4\frac{1}{d}hds + d^{2dh} = h$$

$$4\frac{1}{d}hds + d^{2dh} = 0$$

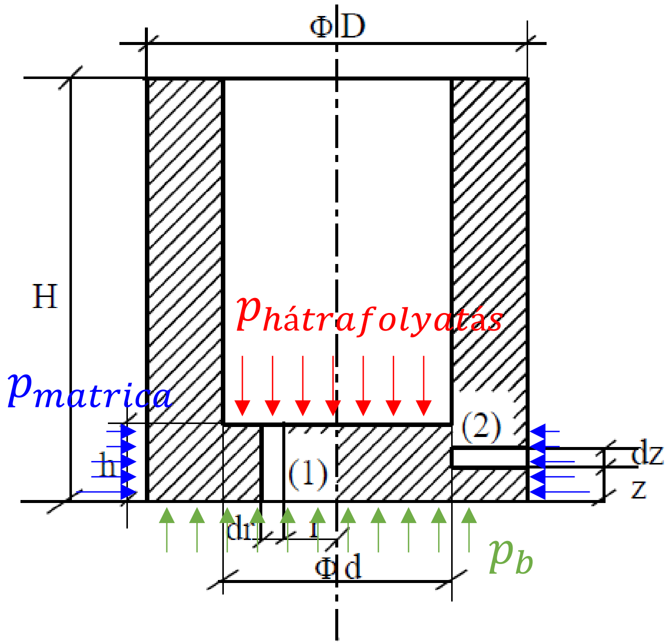
$$ds = \frac{d}{4h}dh$$

A V_1 anyagrész átlagos alakváltozás növekménye h_0-tól h-ig tartó alakítás során:

$$\varphi = \frac{1}{2}\int_{h_0}^{h}\frac{ds}{s} = \frac{1}{2}\int_{h_0}^{h}\frac{d}{4hs}dh = \frac{1}{2}\frac{d}{4s}\int_{h_0}^{h}\frac{dh}{h} = \frac{d}{8s}\ln\frac{h_0}{h}$$

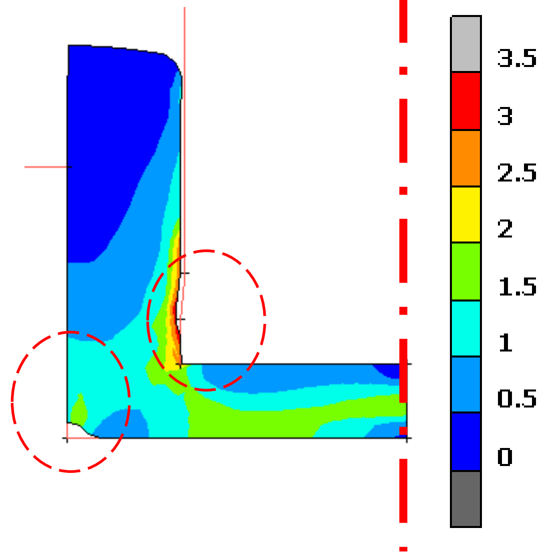
A matricára ható nyomás:

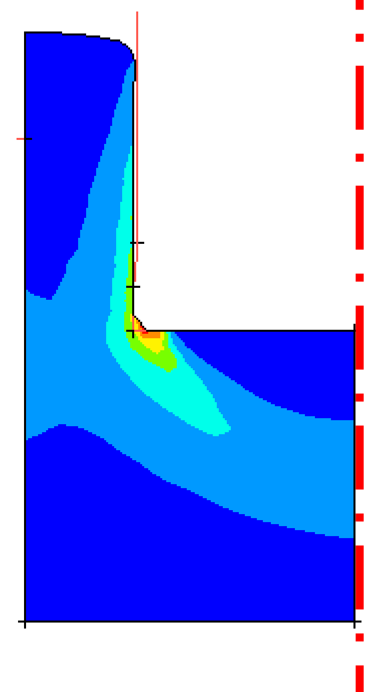
$$p_{matrica} = p_{hátrafolyatás}\frac{d^2}{D^2}$$

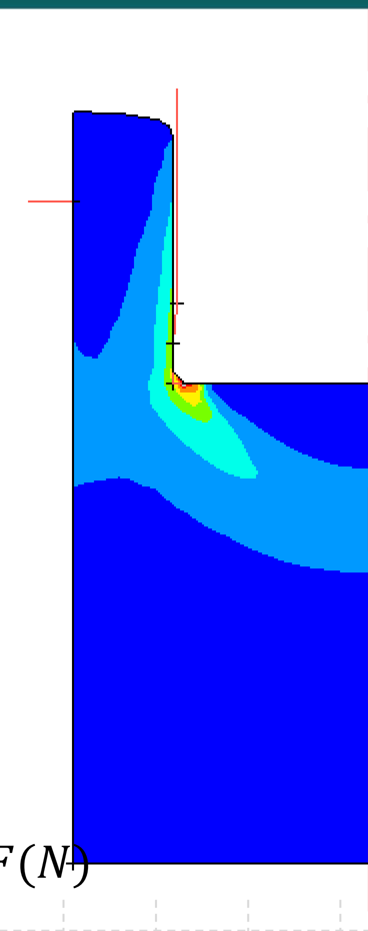


Hátrafolyatás

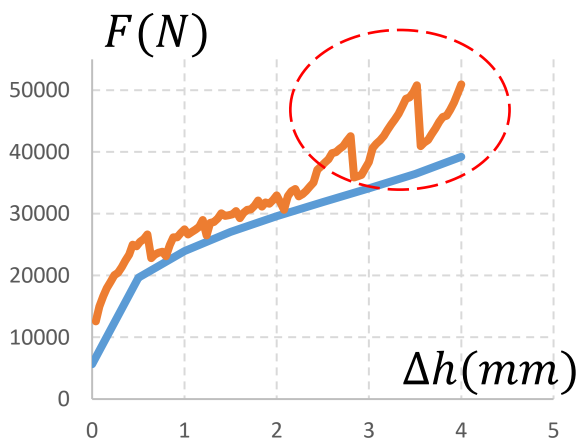
$D = 15\ mm$
$d = 10\ mm$
$H_0 = 5{,}5;\ 10{,}5;\ 15{,}5\ mm$
$h = 1{,}5;\ 6{,}5;\ 11{,}5\ mm$
$k_f = 25 + 152\varphi^{0{,}4}$
$\mu = 0{,}1$

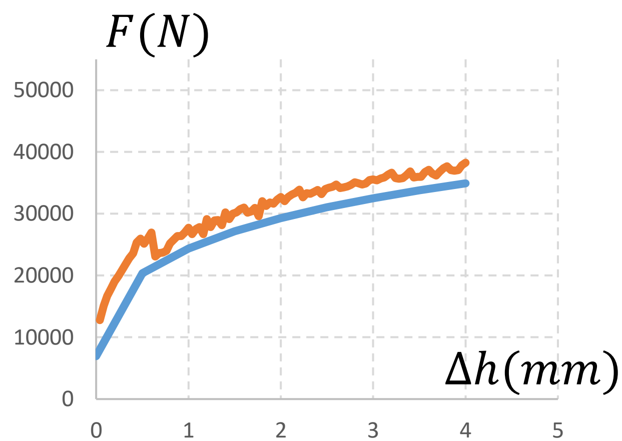


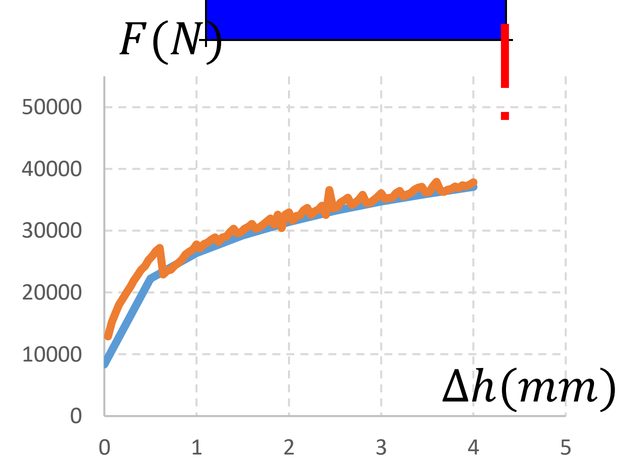




analitikus *VE számítás*



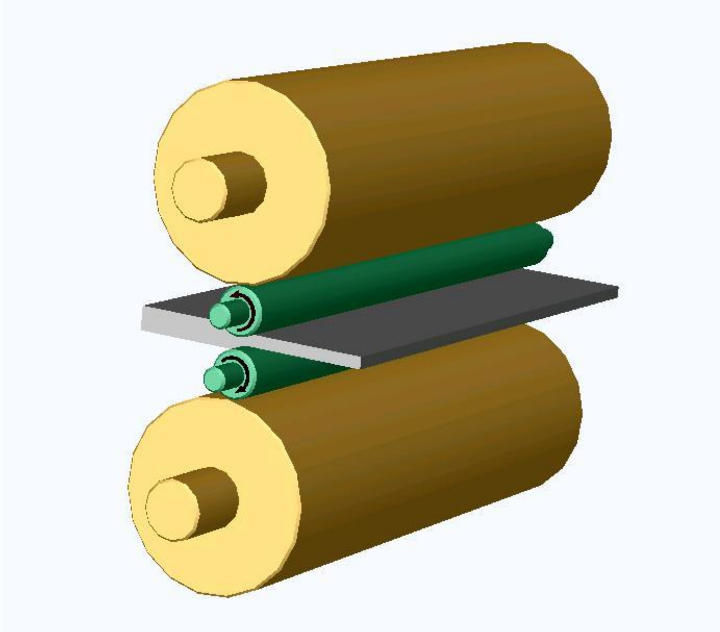




Hengerlés

Lemez: a szélessége sokkal nagyobb, mint a vastagsága és a hossza.

Két ellentétes irányban forgó henger között a lemez vastagsága csökken.



Négy hengeres, kvartó elrendezés

Hideghengerlés:

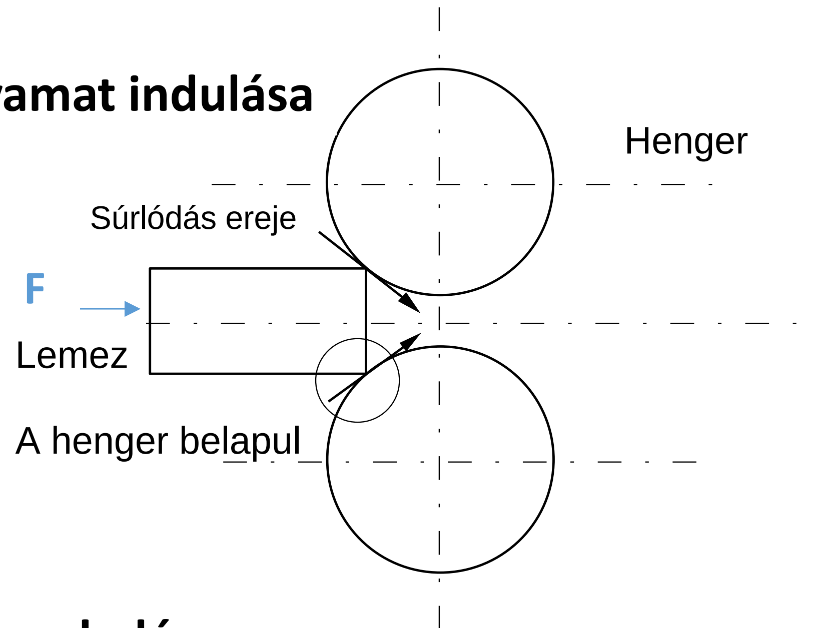
- vékony lemezek gyártása
- jó felületi minőség és méretpontosság
- keményedés: negyedkemény, félkemény stb. állapotú lemezek gyártása

Meleghengerlés:

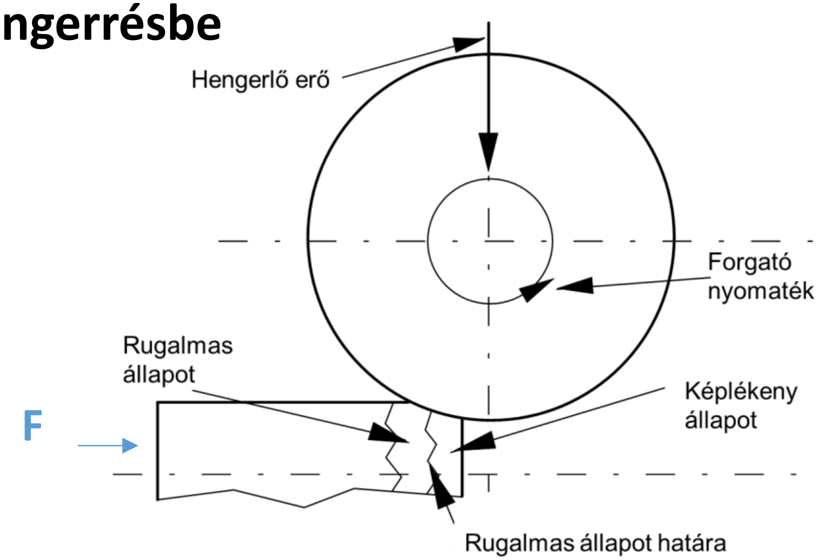
- Lágyulási folyamatok (megújulás, újrakristályosodás)
  (meleg k_f görbe)
- Fázisátalakulás, kiválások, termomechanikus alakítás

Hengerlés

A folyamat indulása



Az anyag belép a hengerrésbe



A kialakuló érintkező felületeken fellépő súrlódás húzza be a hengerrésbe a darabot.

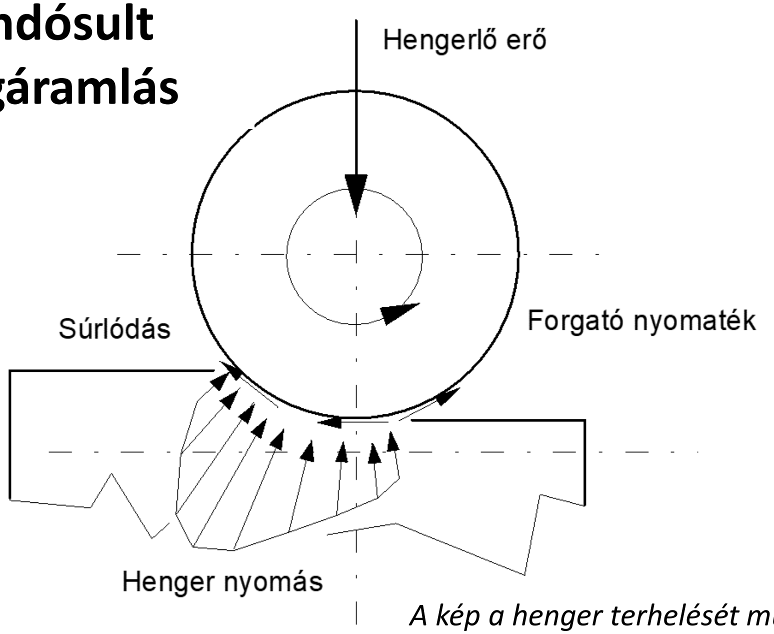
A súrlódásnak a szerepe elsődleges a folyamat szempontjából.

Nulla súrlódási erő esetén nem lehet hengerelni! Nem csak a folyamat elindítása hanem a teljes technika megvalósíthatatlan lenne.

A nagyobb fogyások és kis súrlódás esetében a folyamat megindításakor egy bizonyos pontig külső erőre van szükség.

Hengerlés

Állandósult anyagáramlás



A kép a henger terhelését mutatja.

A folyamat paraméterei, amiket ismernünk kell hogy tervezni vagy számolni tudjunk:

- Hengerátmérő
- Szúrás (lemezvastagság csökkenés)
- Hengerrés mérete
- Hengerlési sebesség
- Hengerállvány szilárdsága;
- A lemez mérete, folyásgörbéje, hőmérséklete
- Súrlódási tényező (?)

Az alábbi mennyiségetek tudjuk kiszámítani különböző modellek segítségével:

- Hengerlő erő
- Forgató nyomaték
- A szükséges teljesítmény
- A hőmérséklet
- Hengerlés után a szemcseméret, és szilárdság
- Anizotrópia

Schey-féle empirikus modell

A fajlagos hengerlési erő:

$$P_r = 1.15\, Q_p k_{fm} L$$

Átlagos alakítási szilárdság:

$$k_{fm} = \frac{1}{\varphi_{\max}} \int_0^{\varphi_{\max}} k_f(\varphi, \dot{\varphi}_{\text{átl.}})\, d\varphi$$

Átlagos alakváltozási sebesség:

$$\dot{\varphi}_{\text{átl.}} = \frac{v}{L} \ln \frac{h_{be}}{h_{ki}}$$

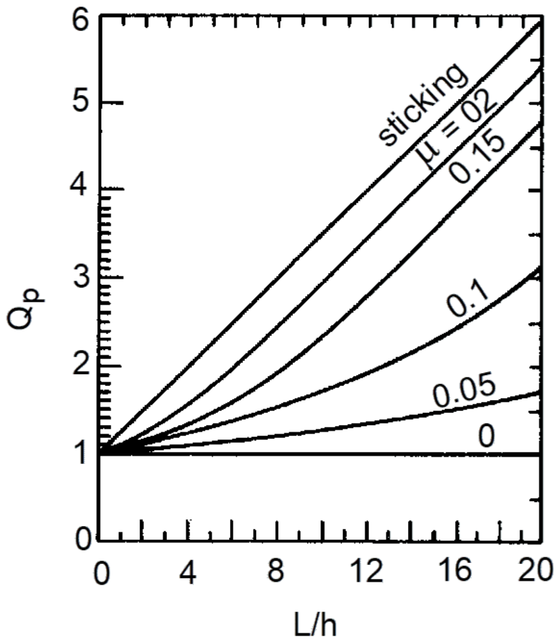
A belapult hengerszakasz sugara (Hitchcock) :

$$R' = R\left[1 + \frac{16(1-\nu^2)}{\pi E (h_{be} - h_{ki})} P_r\right]$$

Az érintkező hossz:

$$L = \sqrt{R' \Delta h}$$

P_r = A hengerlő erő (N/m, N/mm);
M = Forgató nyomaték (Nm/m, Nm/mm);
Q_p = szorzó, μ és L/h függvénye;
L = az érintkező ív hossza (m, mm);
R' = a belapult henger sugara (m, mm);
v = sebesség (m/s, mm/s);
h_{be}, h_{ki} = A lemez vastagsága, (m, mm);
φ , $\dot{\varphi}$ = alakváltozás, alakváltozási sebesség (1/s);
W = szélesség (m, mm)



Hengerlés

A hengerlési nyomaték:

$$M = \frac{P_r L}{2}$$

Teljesítményszükséglet:

$$Teljesítmény = P_r\ W\ L\ \frac{v}{R'}$$

A darab hőmérséklet változása:

$$\Delta T = \frac{Teljesítmény}{tömegáram\ x\ \ fajhő}$$

P_r = hengerlő erő (N/m, N/mm);
M = forgató nyomaték (Nm/m, Nm/mm);
Q_p = szorzó, μ és L/h függvénye;
L = az érintkező ív hossza (m, mm);
R' = a belapult henger sugara (m, mm);
v = sebesség (m/s, mm/s);
h_{be}, h_{ki} = A lemez vastagsága, (m, mm);
φ , $\dot{\varphi}$ = alakváltozás, alakváltozási sebesség (1/s);
W = szélesség (m, mm)

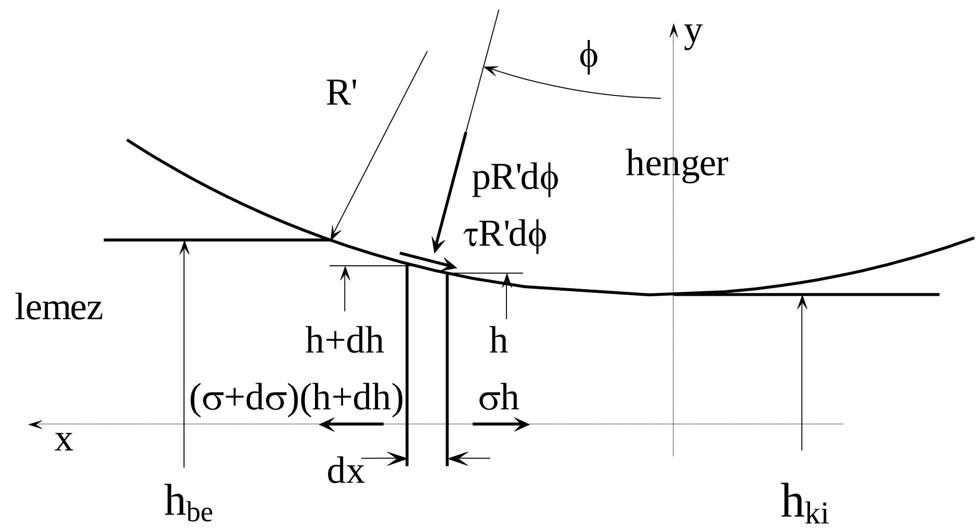
A modell használata egyszerű, a hengerlő erő ismert súrlódási tényezővel megfelelő pontossággal számítható. Minimális számú paraméterre van szükség.

Azonban a súrlódási együttható ismerete szükséges és a forgató nyomaték kevésbé pontosan számítható a módszerrel.

Átlagfeszültség módszer – Orován-féle számítás (Orowan)

Az erők egyensúlyban vannak a hengerlés irányában:

$$\frac{d(\sigma_x h)}{d\phi} + 2R'(p \sin\phi \pm \tau \cos\phi) = 0$$



Mises képlékenységi feltétel:

$$\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + \left(\sigma_z - \sigma_y\right)^2 = 2k_f^2 \xrightarrow[\textit{állapotra}]{\textit{sík alakváltozási}} \sigma_x + p = \frac{2}{3}k$$

A lemez vastagsága:

$$h = h_2 + 2R' \ (1 - \cos\phi)$$

A belapult henger sugara (Hitchcock)

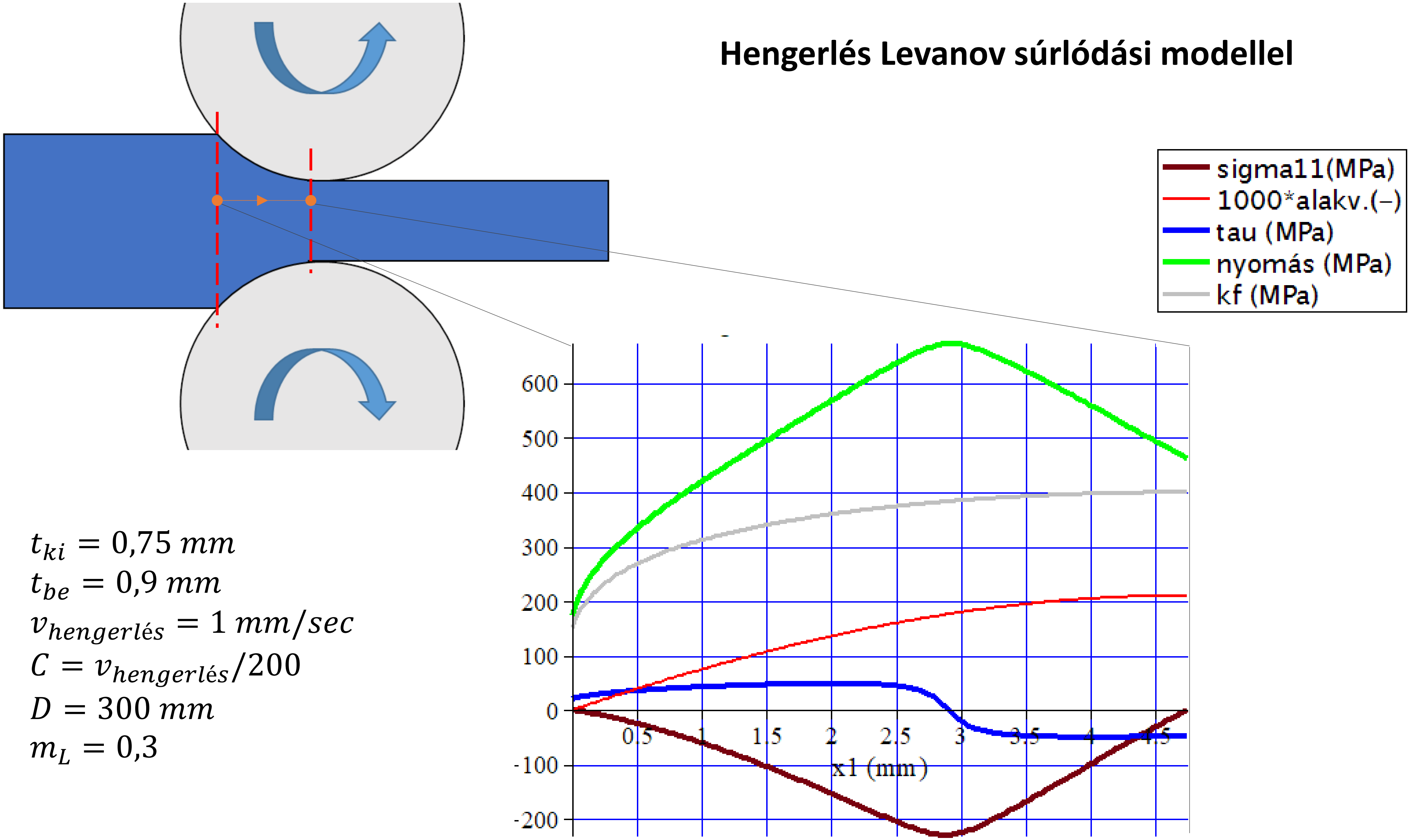
$$R' = R\left[1 + \frac{16(1-\nu^2)}{\pi E \Delta h} P_r\right]$$

Hengerlés

1. feltételezés: a henger átmérője nem változik
2. feltételezés: a súrlódási tényező adott

1. Az egyensúlyi egyenlet integráláljuk. Kiszámoljuk a hengernyomást és érintkező felületén lévő nyírófeszültséget.
2. Ebből kiszámoljuk az érintkező felületen fellépő nyomatékot és erőt.
3. A nyomatékból és erőből Kiszámoljuk a henger deformációját.
4. Újraszámoljuk a 1., 2. és 3. lépést a deformált hengersugárral.
5. Ezeket a számításokat addig ismételjük amíg az előző és az új hengerlő erő különbsége elfogadható nem lesz (~5-10%) .

Hengerlés Levanov súrlódási modellel



$t_{ki} = 0{,}75\ mm$

$t_{be} = 0{,}9\ mm$

$v_{hengerlés} = 1\ mm/sec$

$C = v_{hengerlés}/200$

$D = 300\ mm$

$m_L = 0{,}3$

Irodalom

- Ziaja Gy. Alakítástechnika jegyzet