Anyagtudomány és Technológia Tanszék

MŰEGYETEM 1782

Folyásgörbe mérés

Rastegaev módszer

Alakítástechnika (BMEGEMTBGL1 és BMEGEMTAGM1)

Dr. Reé András
ree@eik.bme.hu

Alakítási szilárdság (k_f) :

A képlékeny alakváltozás megindításához, majd fenntartásához szükséges feszültség *egytengelyű* feszültségi állapotban.

$$\boxed{k_f = f(\varphi_{eqv}, \dot{\varphi}_{eqv}, T)}$$

Az alakítási szilárdság egy adott anyag, adott állapotában függ az alakítás mértékétől és két állapottényezőtől, az alakváltozási sebességtől és az alakítási hőmérséklettől.
(A harmadik állapottényezőt, a feszültségi állapotot rögzítettük).

Függés a hőmérséklettől

$$k_f = f(\varphi_{eqv}, \dot{\varphi}_{eqv}, T)$$

Hidegalakítás (T < T_{rekr})

$$k_f \cong f(\varphi_{eqv})$$

(általában szobahőmérsékleten)

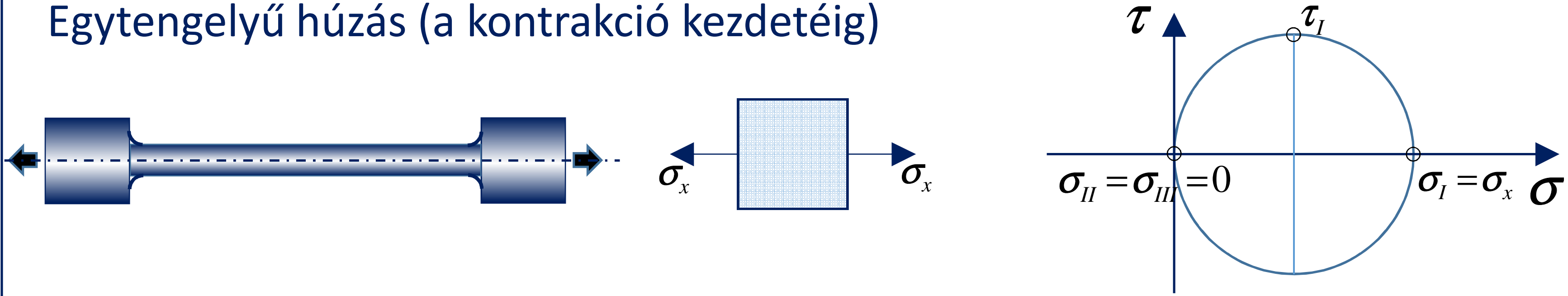
Melegalakítás (T > T_{rekr})

$$k_f \cong f(\dot{\varphi}_{eqv}, T)$$

Hogyan hozható létre egytengelyű feszültségi állapot?

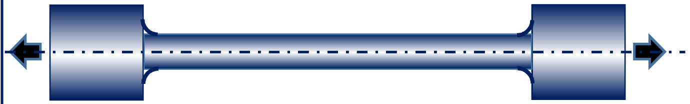
Hogyan hozható létre egytengelyű feszültségi állapot?

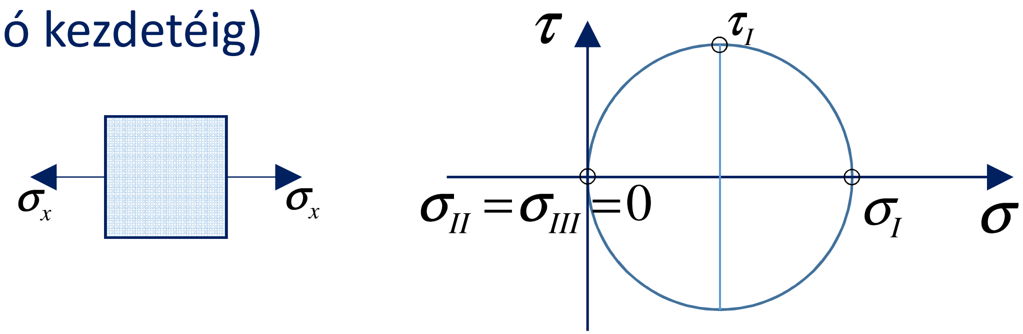
Egytengelyű húzás (a kontrakció kezdetéig)



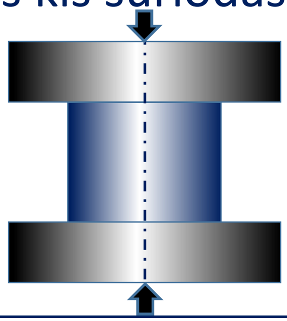
Hogyan hozható létre egytengelyű feszültségi állapot?

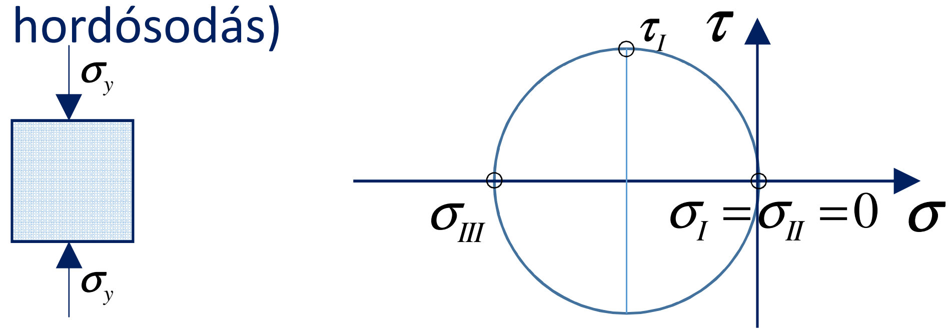
Egytengelyű húzás (a kontrakció kezdetéig)





Zömítés kis súrlódással (amíg nincs hordósodás)





Alakítási szilárdság mérése

Látható, hogy az alakítási szilárdság mérése bonyolult feladat, mert a mérés során nem biztosítható, hogy az egytengelyű feszültségi állapot nagy alakváltozásoknál is fennmaradjon, valamint hogy a próbatest hőmérséklete és az összehasonlító alakváltozási sebesség a mérés közben állandó legyen.

A mérési módszerek három csoportba oszthatók (de vannak átfedések):

- A próbatestben kialakuló többtengelyű feszültségi állapot komponenseiből képlékenységi hipotézissel (HMH) **számítjuk k_f értékét**.
  Hengeres próbatest szakítóvizsgálata a kontrakciós szakaszon.
- A vizsgálatot jó közelítéssel **súrlódásmentes állapotban végezzük.**
  Hengeres próbák zömítése (Rastegaev), valamint lapos próbák síkbeli alakváltozási állapotban végzett zömítővizsgálata (Watts-Ford), ahol a feszültségi állapot nem egytengelyű.
- A mérés feltételeit úgy választjuk meg, hogy az eredmények feldolgozása során a mérési adatokból **következtetni lehessen az egytengelyű feszültségi állapotban érvényes adatokra**.
  Extrapoláció eltérő geometriájú hengeres *próbatestek zömítéséből.*

A mérések kiértékelése

Egytengelyű feszültségi állapotban és síkbeli alakváltozási állapotban a kiértékeléshez szükséges egyenletek egyszerűek. Mindkét esetben alkalmazható a főfeszültségi koordinátarendszer.

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_I & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{II} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{III} \end{bmatrix}, \qquad \varphi_{ij} = \begin{bmatrix} \varphi_I & 0 & 0 \\ 0 & \varphi_{II} & 0 \\ 0 & 0 & \varphi_{III} \end{bmatrix}$$

Főfeszültségek:

$$\sigma_I \geq \sigma_{II} \geq \sigma_{III}$$

Térfogatállandóság:

$$\varphi_I + \varphi_{II} + \varphi_{III} = 0$$

Egytengelyű húzásnál: $\sigma_{II} = \sigma_{III} = 0, \qquad \varphi_{II} = \varphi_{III} = -\varphi_I / 2$

Egytengelyű nyomásnál: $\sigma_I = \sigma_{II} = 0, \qquad \varphi_I = \varphi_{II} = -\varphi_{III} / 2$

A tengelyszimmetrikus esetre a HMH elméletet alkalmazva :

Az egyenértékű feszültség $\sigma_{egy} = \sigma_I - \sigma_{III}$

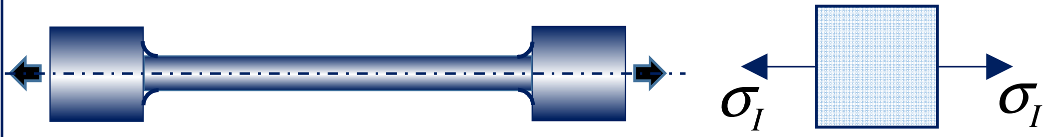
A folyási feltétel $\sigma_{egy} = \sigma_I - \sigma_{III} = k_f$

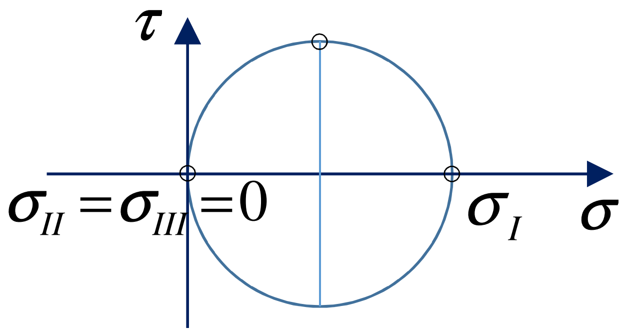
Egytengelyű feszültségi állapotban a folyási feltétel

húzásra $\sigma_I = k_f$ mert $\sigma_{III} = 0$

nyomásra $-\sigma_{III} = k_f$ mert $\sigma_I = 0$

Egytengelyű húzás (a kontrakció kezdetéig)



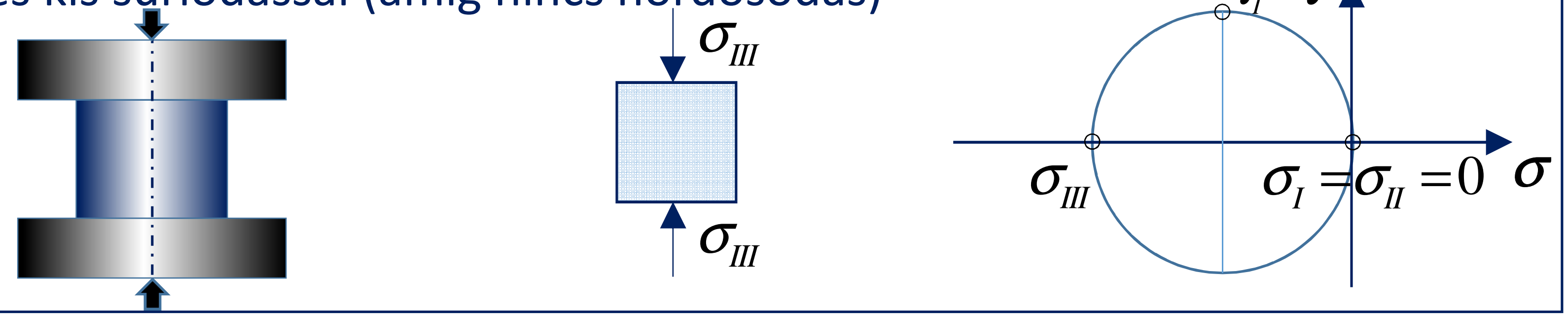


$$\boxed{\sigma_I = k_f = \frac{F}{A} = \frac{4F}{d^2\pi}}$$

$$\boxed{\varphi_{egy} = \varphi_I = \ln\frac{A_o}{A} = \ln\frac{d_o^{\,2}}{d^2} = 2\ln\frac{d_o}{d}}$$

Egytengelyű feszültségi állapot

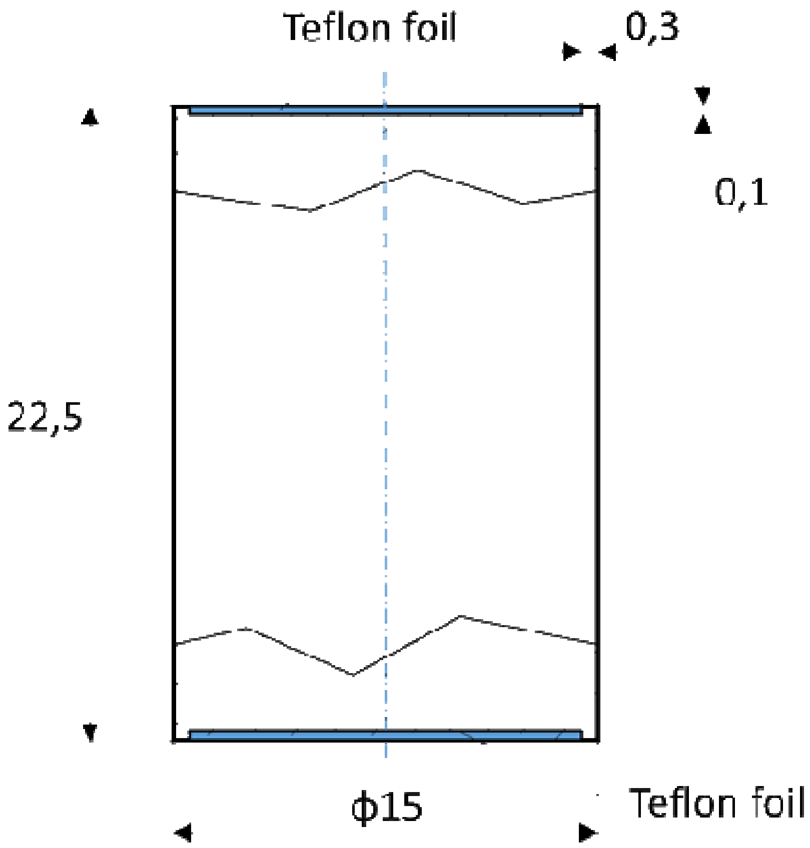
Zömítés kis súrlódással (amíg nincs hordósodás)



$$\boxed{-\sigma_{III} = k_f = \frac{F}{A}}$$ ahol $A = \frac{A_o h_o}{h}$ mert $V_o = A_o h_o = A h$

$$\boxed{\varphi_{eqv} = \varphi_{III} = \ln\frac{A}{A_o} = \ln\frac{h_o}{h}}$$ mert $\frac{A}{A_o} = \frac{h_o}{h}$

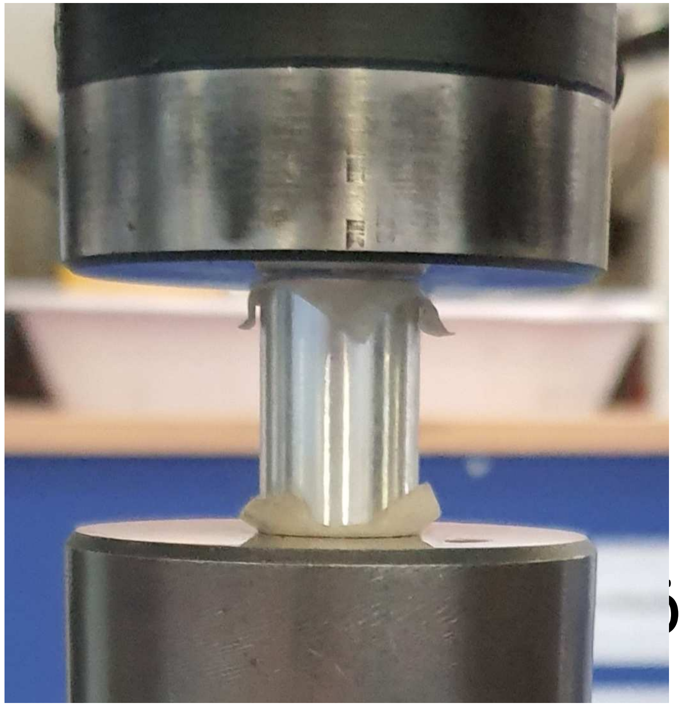
Rastegaev módszer – nyomás egytengelyű feszültségi állapotban:

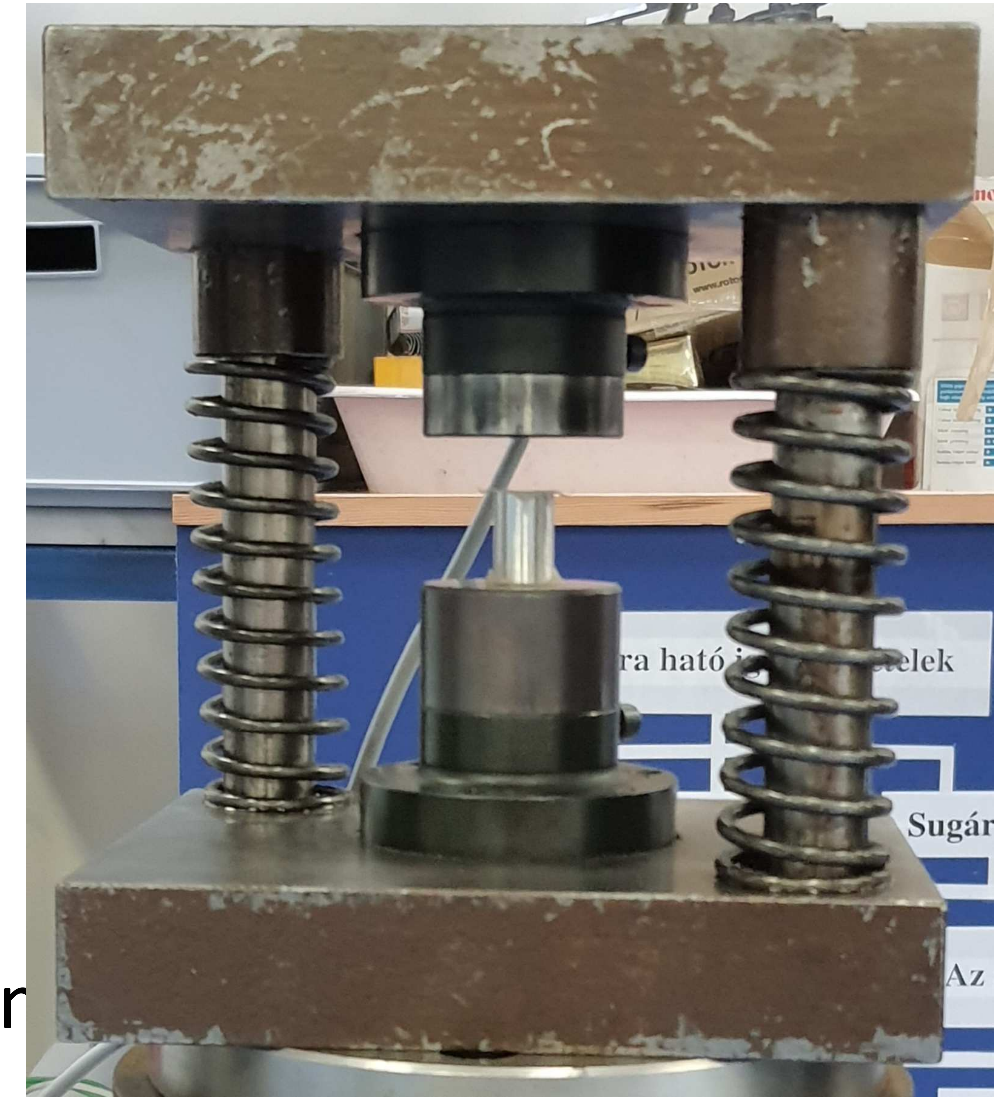


$$k_f = \frac{F}{A} = \frac{F\ H}{A_o\ H_o}$$

$$\varphi_{eqv} = \ln \frac{A}{A_o} = \ln \frac{H_o}{H}$$

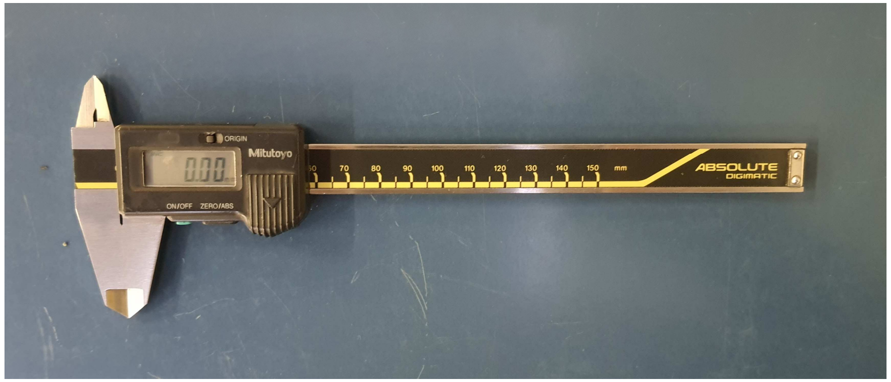
Mérés





Mérés

n a



A síkbeli alakváltozás esetében (szintén HMH):

Az egyenértékű feszültség $$\sigma_{egy} = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_I - \sigma_{III})$$

A folyási feltétel $$\sigma_{egy} = \frac{\sqrt{3}}{2}(\sigma_I - \sigma_{III}) = k_f$$

Ebben az esetben feszültségi állapot nem egytengelyű.

$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_I + \sigma_{III}}{2}, \quad \varphi_I = -\varphi_{III} \quad \text{mert} \quad \varphi_{II} = 0$$

A súrlódást elhanyagolva

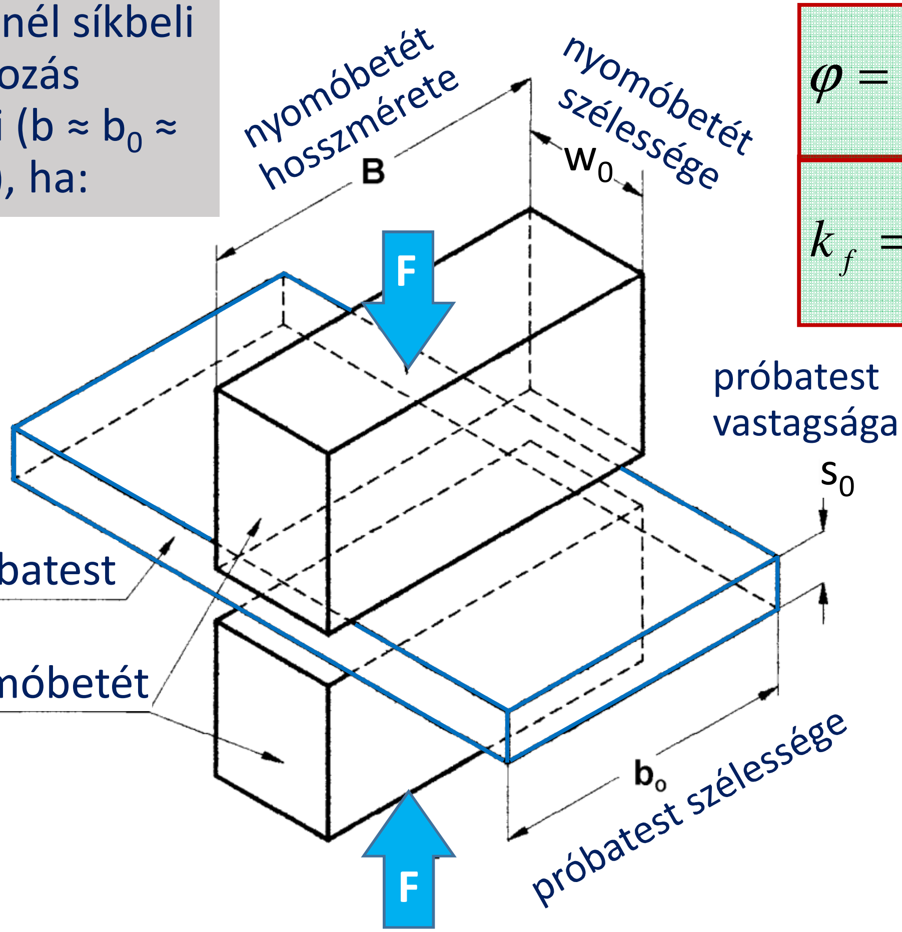
$$\sigma_I \cong 0 \quad \Rightarrow \quad -\frac{\sqrt{3}}{2}\sigma_{III} = k_f$$

Watts-Ford vizsgálat

Lapos próbatest egy részének zömítése síkbeli alakváltozási állapotban.

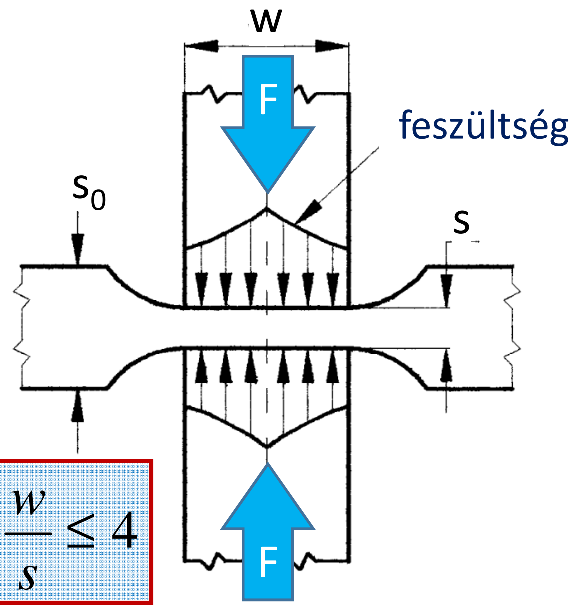
Zömítésnél síkbeli alakváltozás alakul ki ($b \approx b_0 \approx$ állandó), ha:

$$\frac{b}{w} \geq 5$$



$$\varphi = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{s}{s_0}$$

$$k_f = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{F}{b_0 w}$$



$$2 \leq \frac{w}{s} \leq 4$$

Előnyös ha ‚w' **kicsi**, mert ekkor a súrlódás befolyásoló hatása a nyomáseloszlásra jó kenés esetén elhanyagolható.

Előnyös ha ‚w' **nagy**, mert így a nyomó betétek közötti zóna alakváltozása közel homogén.

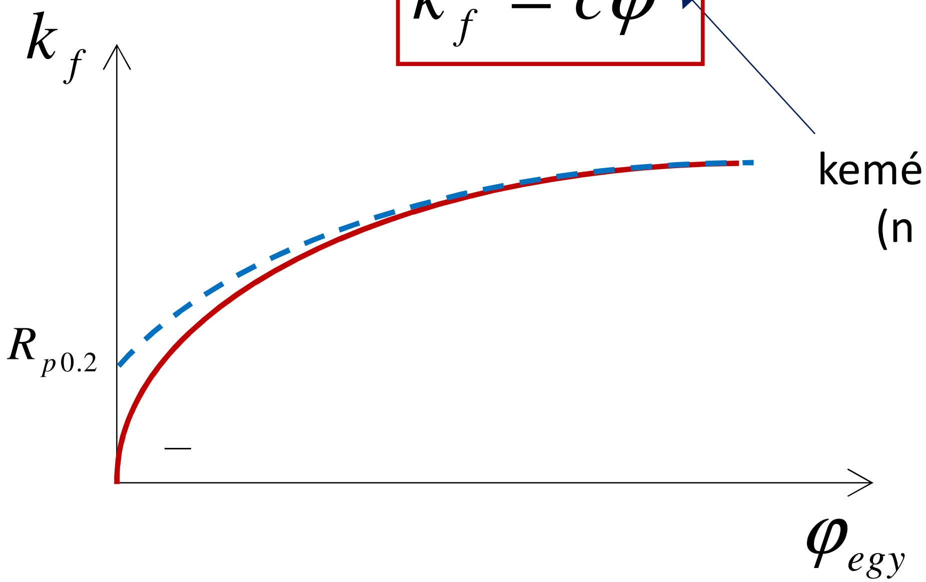
Az folyásgörbe mérések pontjaira empirikus közelítő függvények illeszthetők:

$$\boxed{k_f = c\varphi^n}$$

$$k_f = k_{f0} + c'\varphi^{n'}$$

$$k_{fo} = R_{p0,2}$$

keményedési kitevő
(n = 0.1 – 0.3)



$k_f = \boldsymbol{c\ \varphi^n}$ formában Nádai Sándor, korábban Rejtő Sándor (csúsztató feszültségekre) írták fel elsőként.

A $\boldsymbol{k_f = c\ \varphi^n}$ függvény kis alakváltozás esetén nem jól közelít. Néhány százalék alakváltozástól azonban jó közelítéssel alkalmazható az alakítási szilárdság számítására.

Köszönöm a figyelmet!