Folyásgörbe mérés

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).

Hőmérséklet hatása

Függés a hőmérséklettől

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

Hidegalakítás ($T < T_{rekr}$)

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

(általában szobahőmérsékleten)

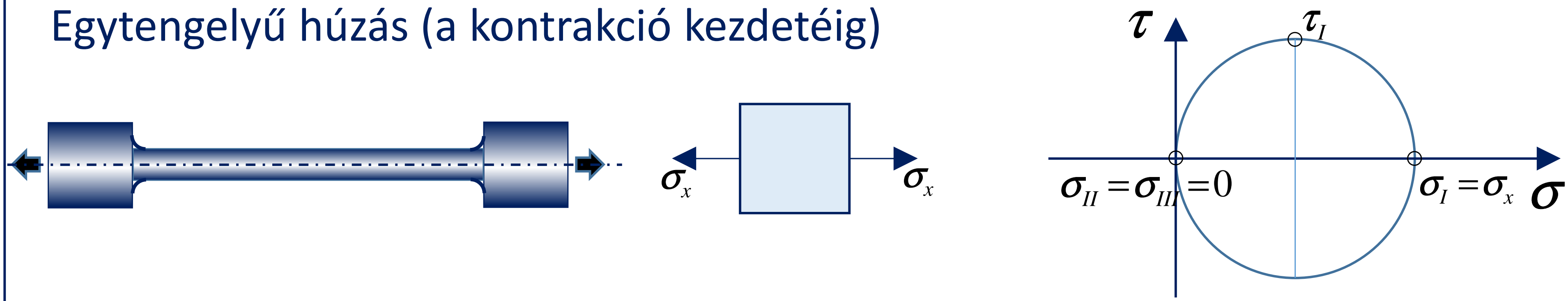
Melegalakítás ($T > T_{rekr}$)

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

Hogyan hozható létre egytengelyű feszültségi állapot?

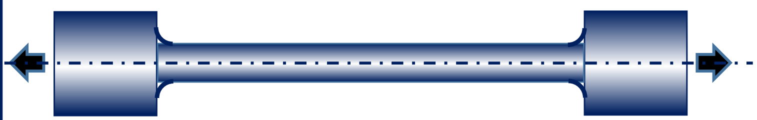
Hogyan hozható létre egytengelyű feszültségi állapot?

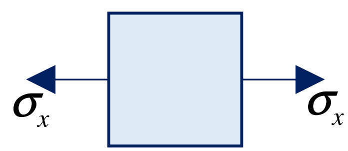
Egytengelyű húzás (a kontrakció kezdetéig)

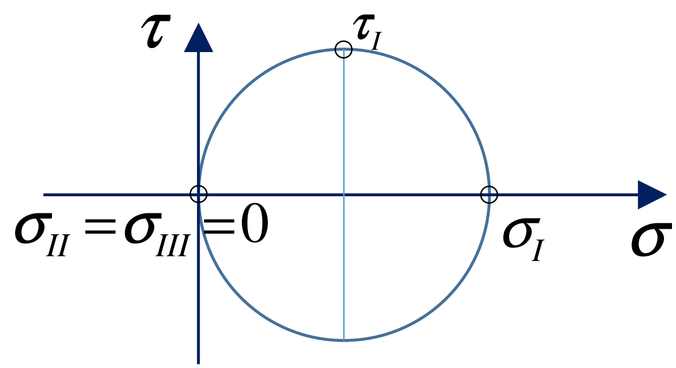


Hogyan hozható létre egytengelyű feszültségi állapot?

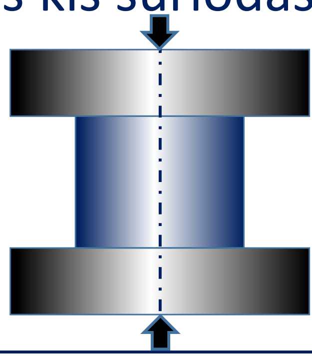
Egytengelyű húzás (a kontrakció kezdetéig)

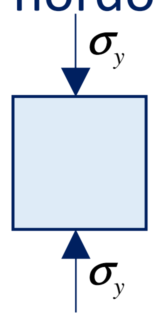


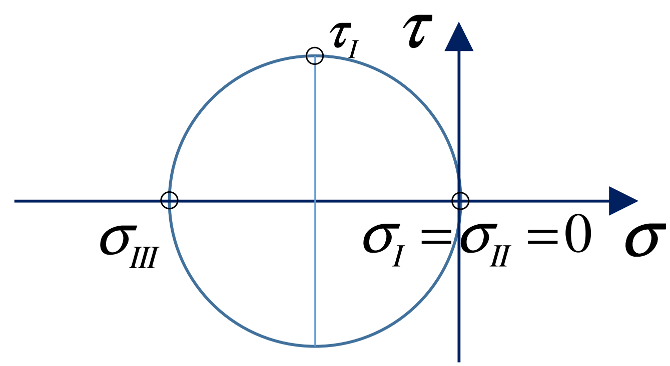




Zömítés kis súrlódással (amíg nincs hordósodás)







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 $\sigma_{egy} = \sigma_I - \sigma_{III} = k_f$

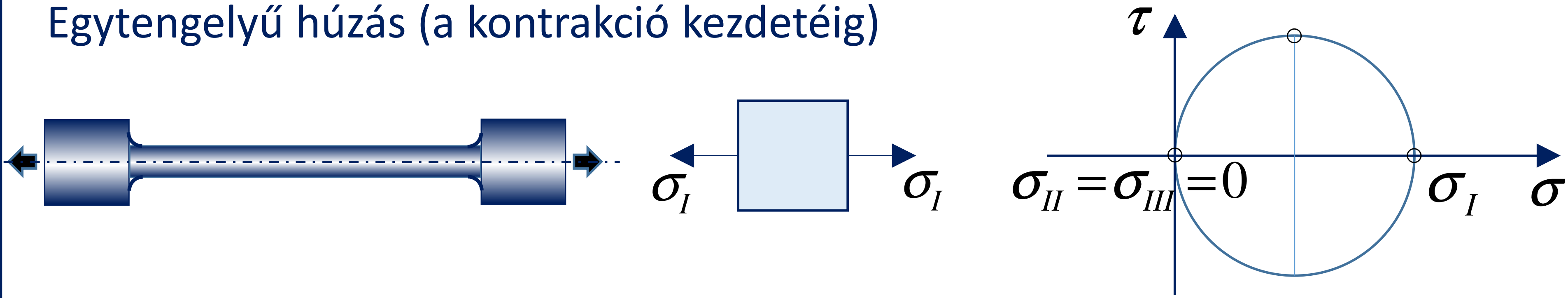
Egytengelyű feszültségi állapotban a folyási feltétel

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

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

Egytengelyű feszültségi állapot

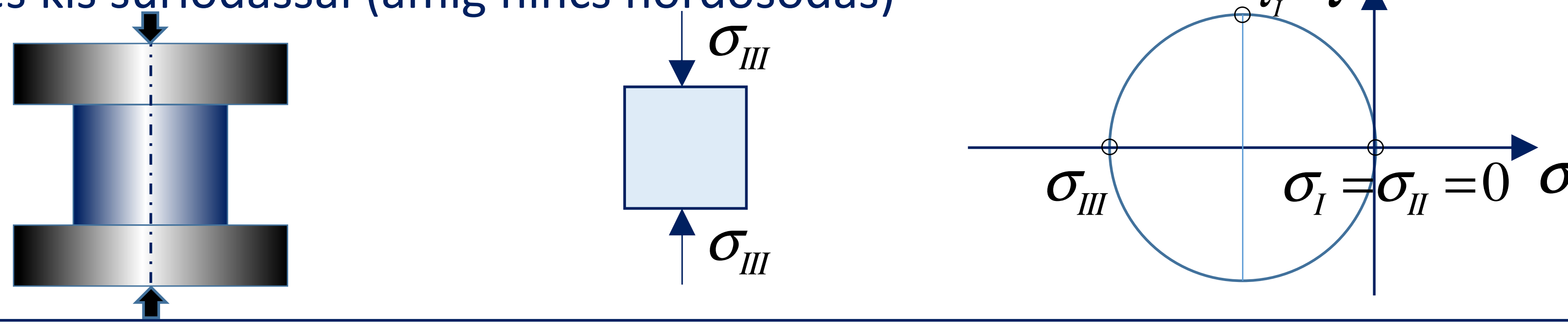
Egytengelyű húzás (a kontrakció kezdetéig)



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

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

Zömítés kis súrlódással (amíg nincs hordósodás)



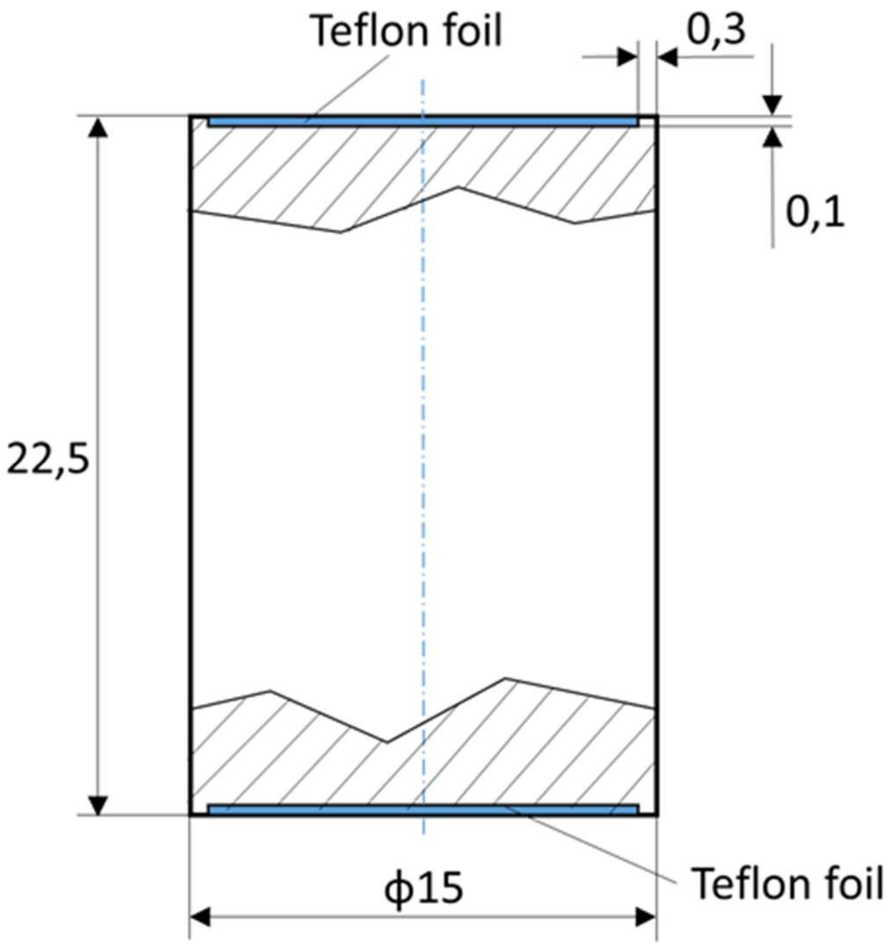
$$\boxed{-\sigma_{III} = k_f = \frac{F}{A}}$$

ahol $A = \dfrac{A_o h_o}{h}$ 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 $\dfrac{A}{A_o} = \dfrac{h_o}{h}$

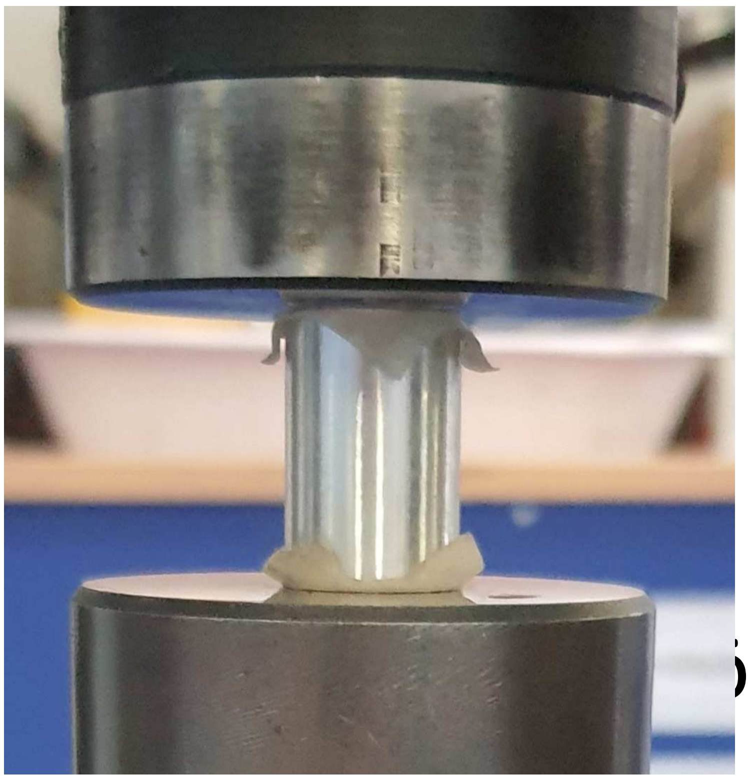
Rastegaev módszer – nyomás egytengelyű feszültségi állapotban:



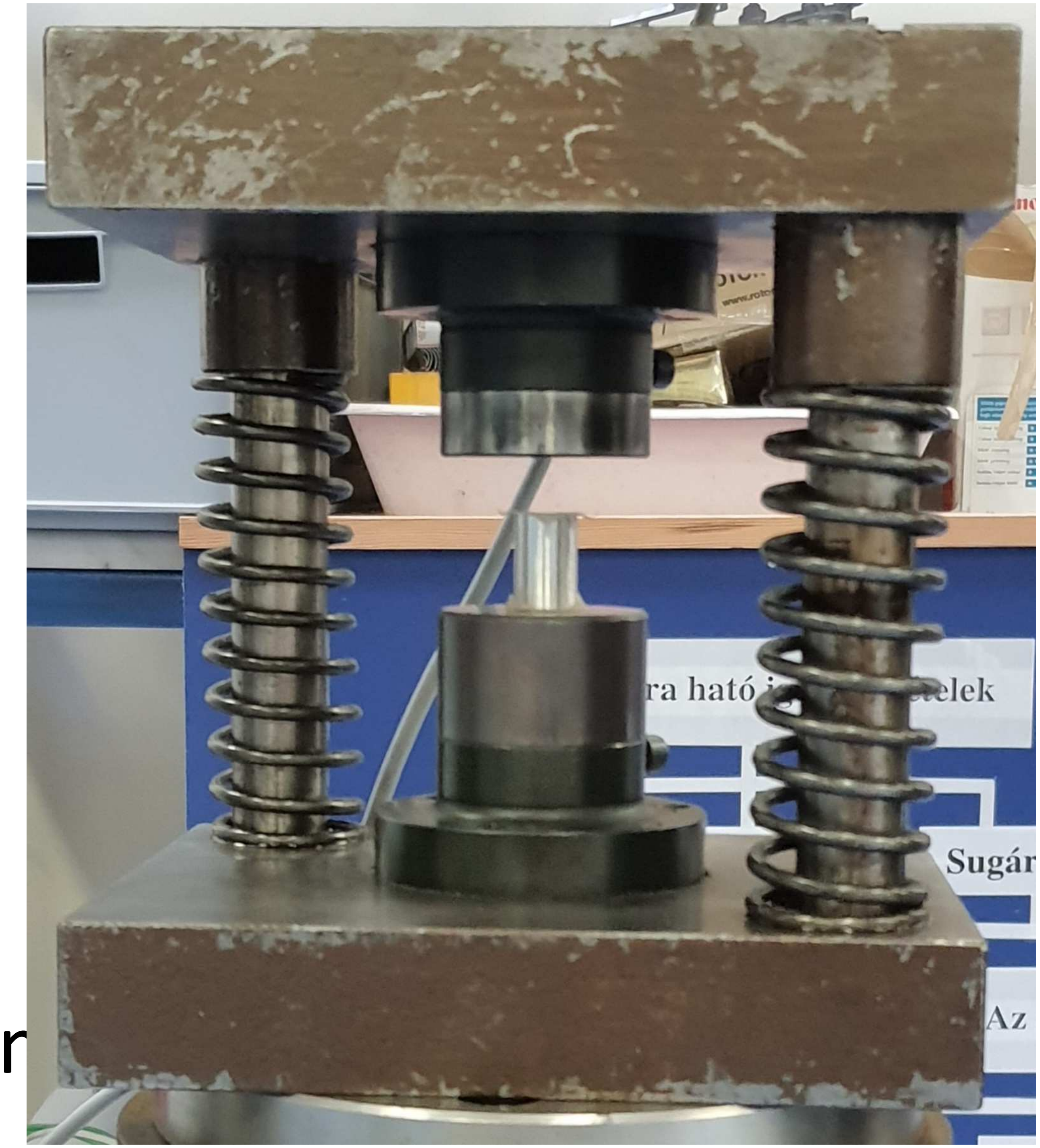
$$k_f = \frac{F}{A} = \frac{F\,h}{A_o\,h_o}$$

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

Mérés



önör



Mérés

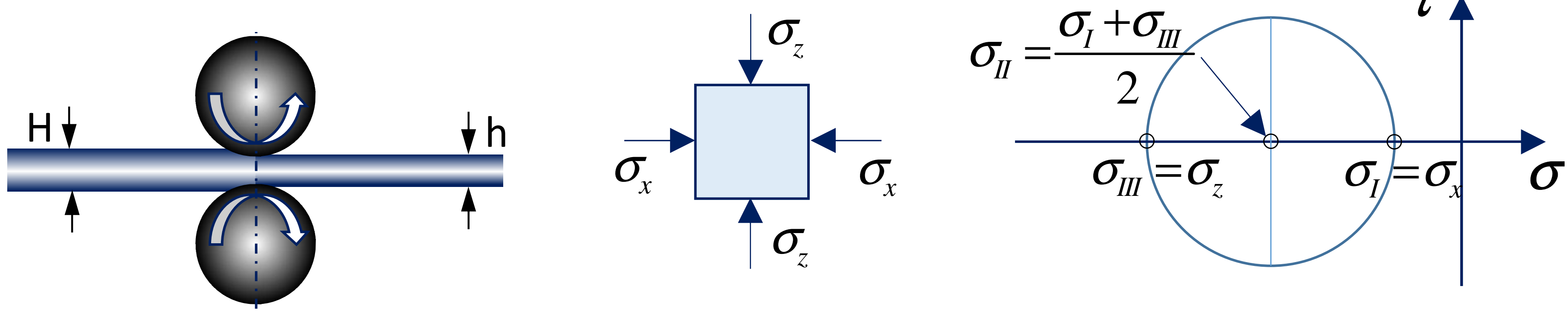

TIRA test 2300


ORIGIN
Mitutoyo
ON/OFF ZERO/ABS
ABSOLUTE
DIGIMATIC

n a

Síkbeli alakváltozási állapot

Hengerlés (vékony lemez, síkbeli alakváltozási állapotot feltételezve)

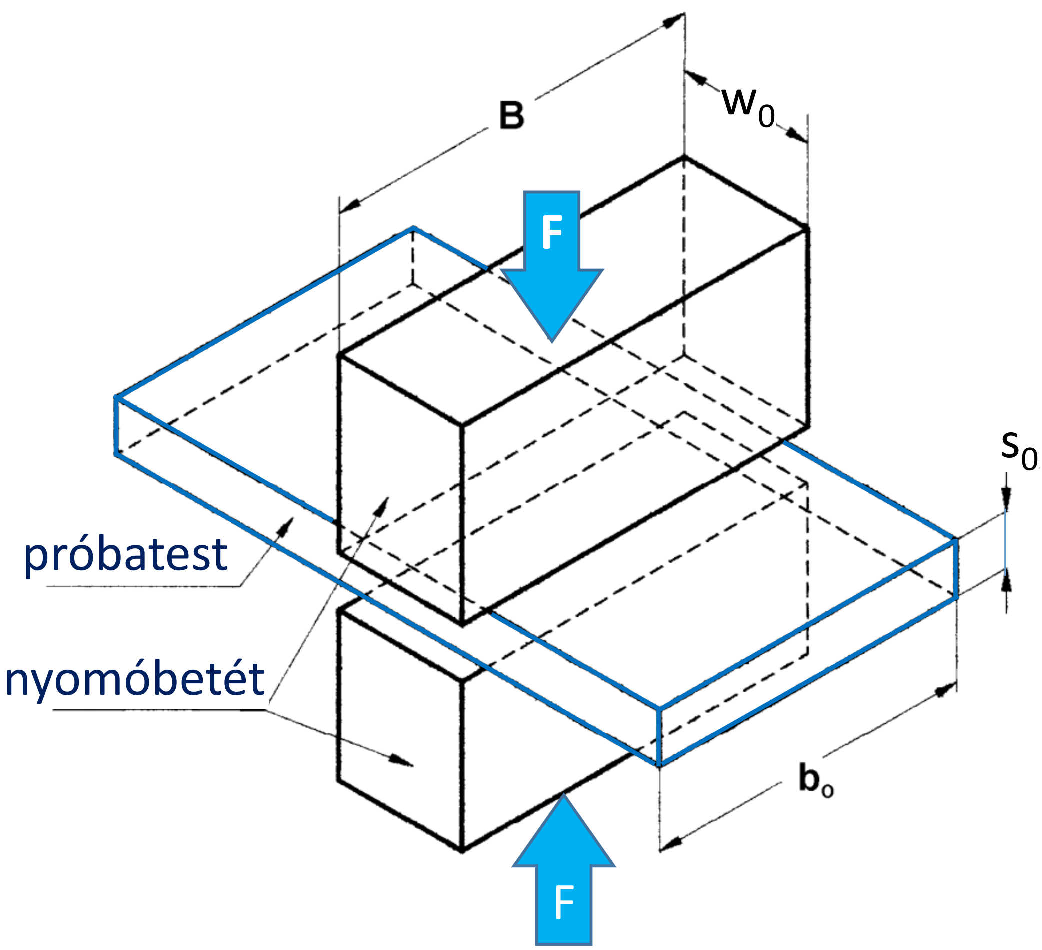


Vékony lemezek hideghengerlésének modellezéséből alakult ki az alakítási szilárdság mérésére a Nádai Sándor (Alexander Nadai) és Orován Egon (Egon Orowan) által javasolt, majd **Watts** és **Ford** által kidolgozott vizsgálat, a lapos próbatestek zömítő vizsgálata síkbeli alakváltozási állapotban.

Síkbeli alakváltozási állapot esetében a mérések kiértékeléséhez szükséges egyenletek hasonlóan egyszerűek, mint tengelyszimmetrikus esetben.
Watts és **Ford** részletes vizsgálatai alapozták meg a mérések kezdetén, majd a mérés közben is betartandó geometriai feltételeket, amik szükségesek a síkbeli alakváltozáshoz és az erre vonatkozó egyenletek felhasználhatóságához.

Watts-Ford vizsgálat

A mérés során egy hasáb síkbeli alakváltozást szenvedő térfogatrészének párhuzamos felületek közötti zömítését végezzük kis súrlódás mellett.



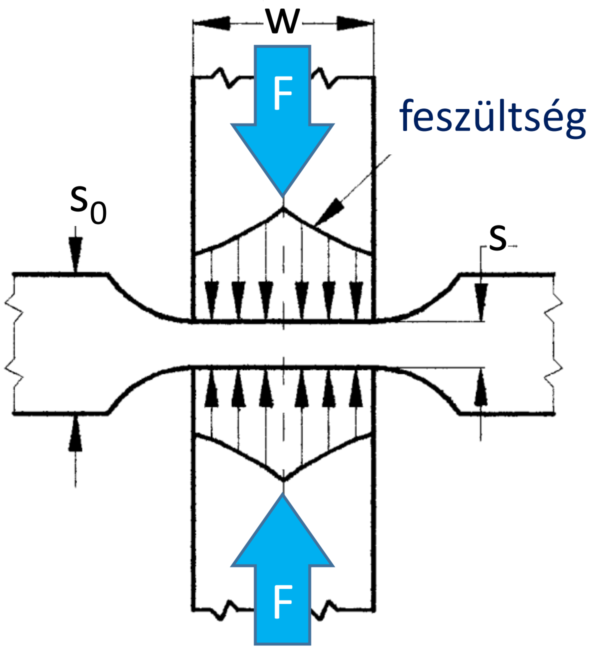
A mérés során közelítőleg síkbeli alakváltozás alakul ki ($b \approx b_0$ = állandó), ha:

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

1. feltétel

A kedvező súrlódási viszonyokat polírozott szerszámfelületek, kis felületi érdességű próbatestek és a jó kenés biztosítják.

Watts-Ford vizsgálat



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

2. feltétel

Előnyös ha a **w/s kicsi**, mert akkor a **súrlódás** befolyásoló hatása a nyomáseloszlásra jó kenés esetén elhanyagolható, amit a mérés szakaszos elvégzése is elősegít.

Előnyös ha **w/s nagy**, mert akkor a nyomó betétek közötti zóna alakváltozása közel homogén.

Ezt az ellentmondást a 2. feltétel szerinti kompromisszum oldja fel, amit a mérés közben végig be kell tartani. Ez a szerszámpárok többszöri cseréjével, csökkenő w méretekkel oldható meg.

A mérési adatok kiértékelése:

A mérés során az összetartozó erőt (F) és a próbatest vastagságot (s) kell mérni.

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

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

Kiértékelés

A síkbeli alakváltozás esetében (szintén HMH):

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

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

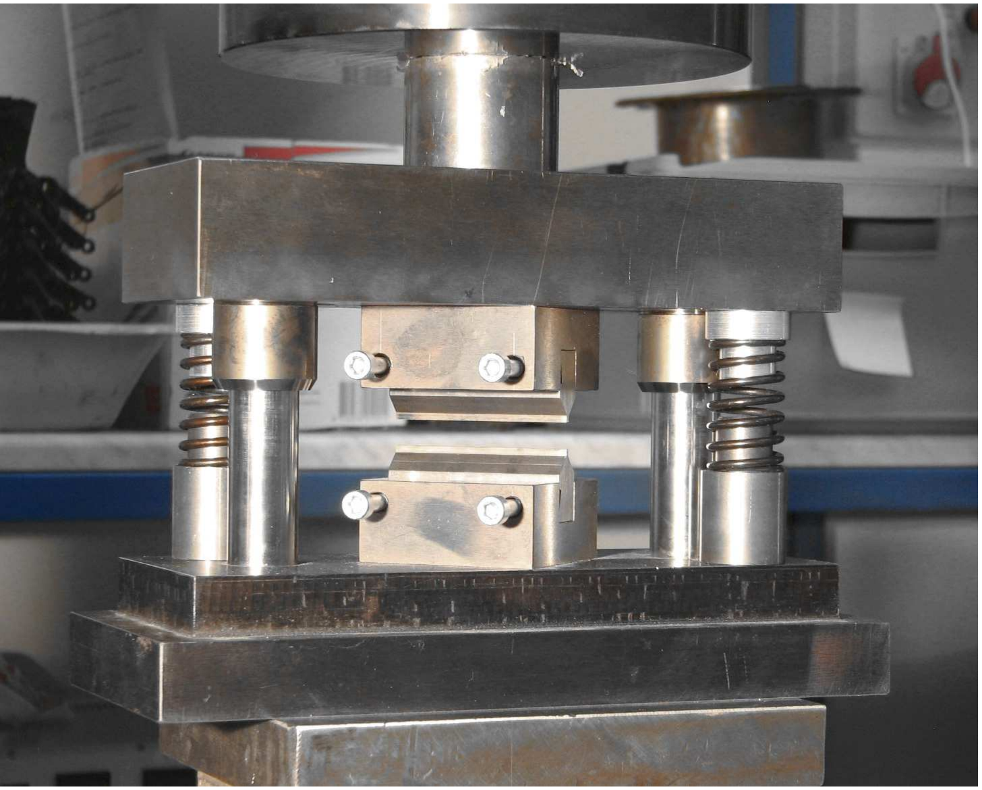
Ebben az esetben feszültségi állapot nem egytengelyű.

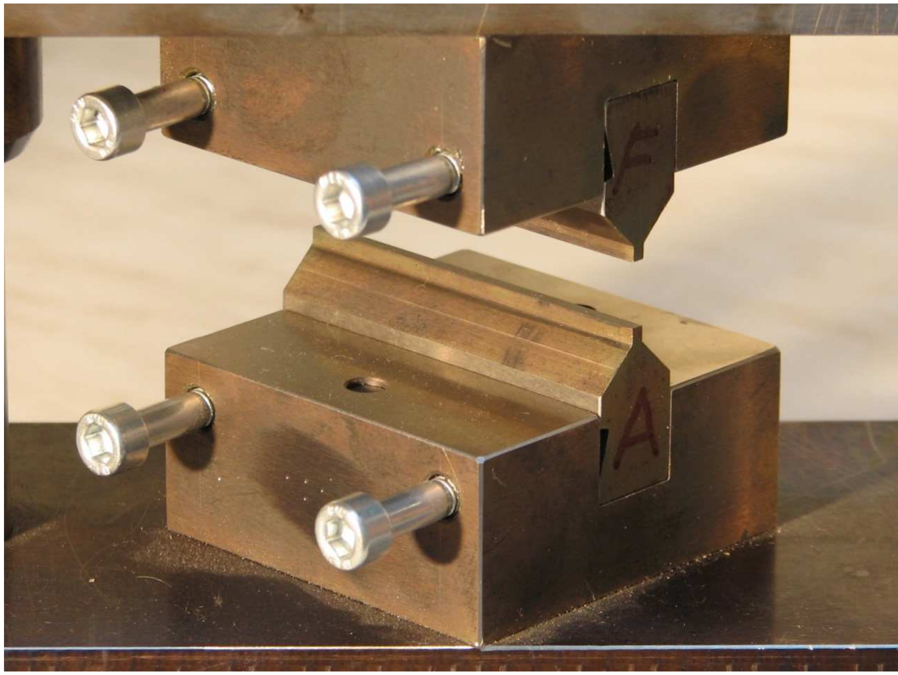
$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_I + \sigma_{III}}{2}, \quad \varphi_I = -\varphi_{III} \quad \text{mert} \quad \varphi_{II} = 0$$

A súrlódást elhanyagolva

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

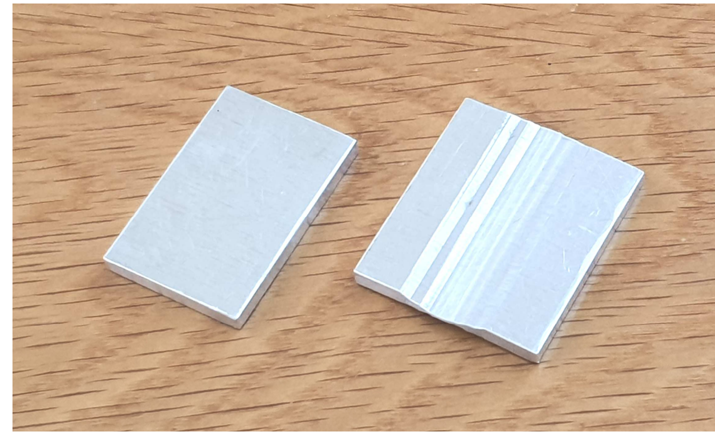
Mérés

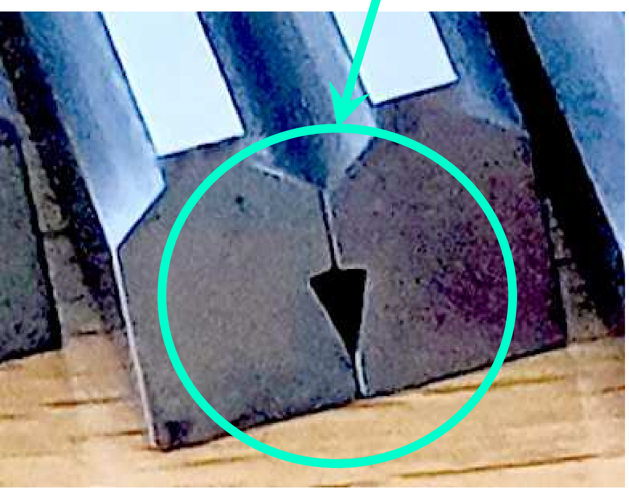




	w	s max	s min	fi (6)	fi (5)	fi (4)	fi (3)	fi (2)	fi (1)
1	10,0	5,000	2,500	0,800	---	---	---	---	---
2	6,0	3,000	1,500	1,390	0,800	---	---	---	---
3	3,6	1,800	0,900	1,980	1,390	0,800	---	---	---
4	2,2	1,100	0,550	2,549	1,959	1,369	0,800	---	---
5	1,3	0,650	0,325	3,156	2,566	1,977	1,408	0,800	---
6	0,8	0,400	0,200	**3,717**	3,127	2,537	1,968	1,361	0,800

Mérés

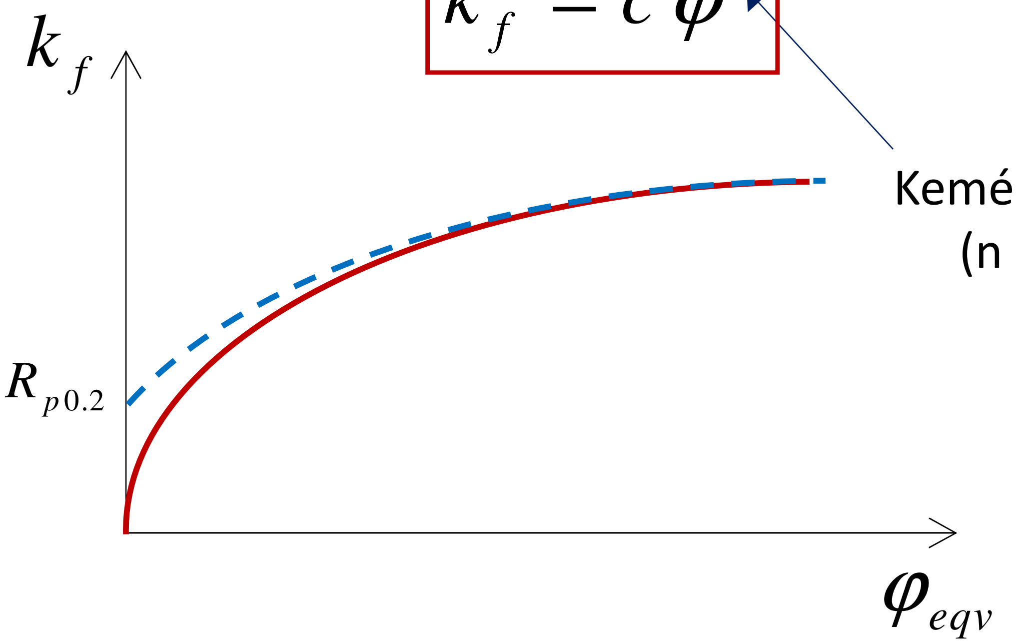




Közelítő egyenletek

A méréspontokra közelítő matematikai függvények illeszthetők:

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



Keményedési kitevő
(n = 0.1 – 0.3)

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

$$k_{f0} = R_{p0,2}$$

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.

A $\boldsymbol{k_f = c\,\varphi^n}$ formula Nádai Sándortól származik (Alexander Nadai), de Rejtő Sándor csúsztató feszültségekre már korábban felírta. (Rejtő szobra a tanszék előterében van.)

Köszönöm a figyelmet!