Képlékeny alakítás elméleti alapjai és képlékenységtani számítások

Nyúlás számítása

- Mérnöki vagy valódi nyúlás
- $\varphi_x = ln\frac{x}{x_0}, \varphi_y = ln\frac{y}{y_0}, \varphi_z = ln\frac{z}{z_0}$
- $\varphi_x + \varphi_y + \varphi_z = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$
- $\varphi_ö = \sqrt{\frac{2}{3}(\varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_3^2)} = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)^2}$

Alakváltozási sebesség

- $\dot{\varphi}_x = \frac{d\varphi_x}{dt} = \frac{v_x}{x}, \quad \dot{\varphi}_y = \frac{d\varphi_y}{dt} = \frac{v_y}{y}, \quad \dot{\varphi}_z = \frac{d\varphi_z}{dt} = \frac{v_z}{z}$
- $\varphi_x + \varphi_y + \varphi_z = 0$
- $\varphi_ö = \sqrt{\frac{2}{3}(\varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_3^2)} = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)^2}$
- Példa: X_0=40, Y_0=40, Z_0=60, v_z=- 0.5 mm/s , Y irányú alakváltozást megakadályozzuk ($Y=Y_0$)
- Mekkora az alakváltozási sebesség Z=30 mm-es méretnél?
- $X = \frac{X_0 Z_0}{Z} = 80\ mm$
- $\dot{\varphi}_z = \frac{v_z}{z} = \frac{-0.5}{30}$=-0.0167 1/s, $\quad \dot{\varphi}_y = 0, \quad \dot{\varphi}_x = -\dot{\varphi}_x$=0.0167 1/s
- $\varphi_ö = \sqrt{\frac{2}{3}\left(\varphi_x^2 + \varphi_y^2 + \varphi_z^2\right)}$=0.019 1/s

Jellemző $\varphi_ö$ és $\varphi_ö$ értékek

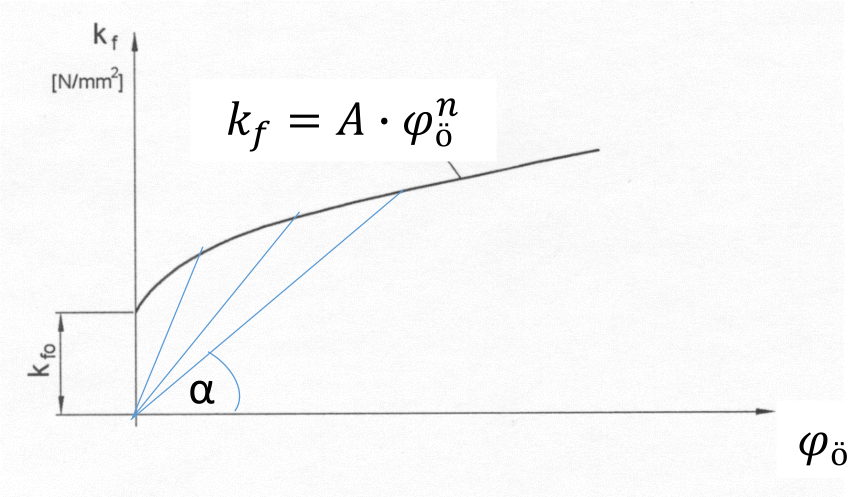
Eljárás	$\varphi_ö$	$\varphi_ö$ [1/s]
Hideghengerlés	0.1-0.5	$1\text{-}10^{3}$
Huzal és rúdhúzás	0.05-0.5	$1\text{-}10^{4}$
Mélyhúzás	0.1-0.5	$1\text{-}10^{2}$
Robbantásos alakítás	0.05-0.2	$10\text{-}10^{5}$
Kovácsolás	0.1-0.5	$1\text{-}10^{3}$
Rúd és profilsajtolás (hidegfolyatás)	2-5	$10^{-1}\text{-}10^{2}$
Szuperképlékeny alakítás	0.2-3	$10^{-4}\text{-}10^{-3}$

Képlékenységi feltétel (folyási feltétel)

- $\sigma_{ö}=k_f$
- $\sigma_{ö}^{T} = \sigma_1 - \sigma_2$ legnagyobb csúsztató feszültség elmélete
- $\sigma_{ö}^{HMH} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2+(\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ munka elmélet
- Legnagyobb eltérés: $\sigma_2 = \frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}$ ≈15%
- Példa:

Anyagtörvény képlékeny állapotban

- $\varphi_x = \frac{1}{D}\left[\sigma_x - \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_z)\right]$ D – képlékenységi modulusz [MPa]
- $\varphi_y = \frac{1}{D}\left[\sigma_y - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z)\right]$ D=tgα=$\frac{k_f}{\varphi_ö}$
- $\varphi_z = \frac{1}{D}\left[\sigma_z - \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y)\right]$

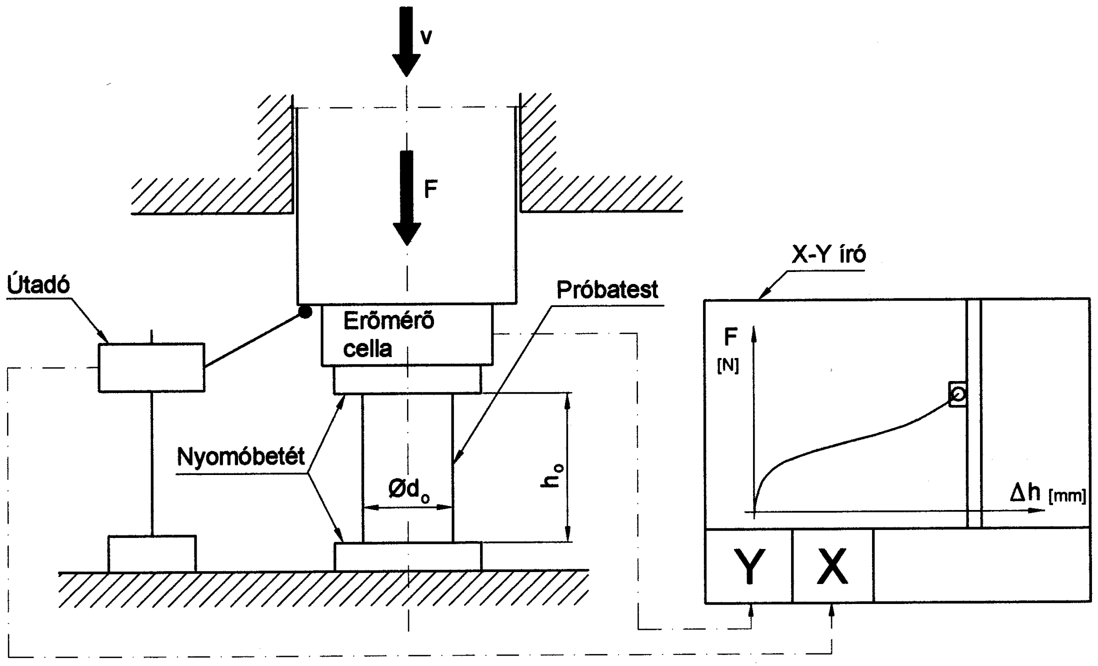


Folyásgörbe meghatározás módszerei

- $k_f=f(\varphi_ö, \dot{\varphi}_ö[1/s], T)$
- Meghatározáshoz biztosítani kell:
  - Egytengelyű feszültégi állapot
  - Hőmérséklet állandósága
  - Összehasonlító alakváltozási feszültség állandósága
- Módszerek:
  - Hengeres próbatest zömítő vizsgálata
  - Lapos próbatest zömítő vizsgálata (Watts-Ford módszer)

Folyásgörbe meghatározás módszerei

- Zömítő vizsgálat hengeres próbatesttel.
  - Egytengelyűség elérhető,
    ha a véglapokon elhanyagolható a súrlódás
    →polírozás, kenés
  - Átlagnyomás $\bar{p} = k_f \left(1 + \frac{\mu}{3}\frac{d}{h}\right)$
  - Ha μ≈0 akkor $\bar{p} = k_f$
  - $k_{fi} = \frac{F_i}{A_0}\frac{h_i}{h_0}$
  - $\varphi_{öi} = ln\frac{h_i}{h_0}$

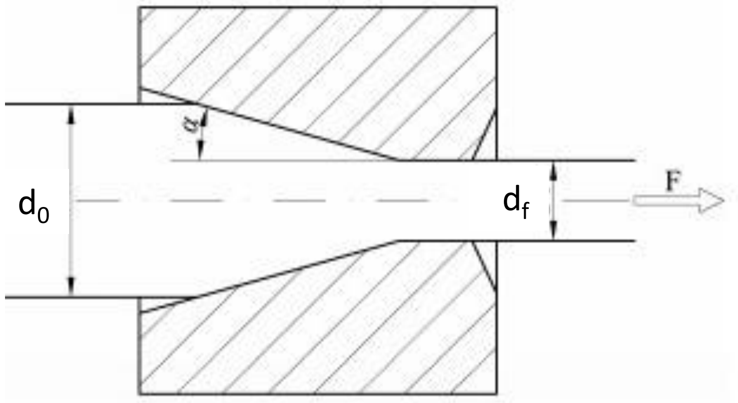


Folyásgörbe meghatározás módszerei

- Legkisebb négyzetek módszerével illesztve:
- $n = \dfrac{\sum_{i=1}^{N}\left(lnk_{fi} \cdot ln\varphi_{\ddot{o}i}\right) - \dfrac{\sum_{i=1}^{N} lnk_{i} \cdot \sum_{i=1}^{N} ln\varphi_{\ddot{o}i}}{N}}{\sum_{i=1}^{N}\left(ln\varphi_{\ddot{o}i}\right)^2 - \dfrac{\left[\sum_{i=1}^{N} ln\varphi_{\ddot{o}i}\right]^2}{N}}$
- $A = e^{\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} lnk_{fi}}{N} - n\frac{\sum_{i=1}^{N} ln\varphi_{\ddot{o}i}}{N}\right)}$

Közepes alakítási szilárdság

- k_f-$\varphi_ö$ kapcsolat nem lineáris
- $k_{fk}=(k_{f0}+k_{f1})/2$ közelítés csak akkor elfogadható, ha az alakváltozás a kf görbe lineáris szakaszán történik, vagy kicsi az alakváltozás.
- Az integrál közép pontosabb eredményt ad:
- $\int_0^{\varphi_{ö1}} A\varphi_ö^n d\varphi = \frac{A}{n+1}\varphi_{ö1}^{n+1}$
- Példa: Huzal húzás :d_0= 5 mm huzal előgyártmány
  - C10 anyag A=683.5 MPa, n=0.235
  - Kúpos szerszámban húzzuk α=15° félkúpszög
  - Húzás utáni átmérő: d_f=4.2 mm, súrlódási tényező μ=0.1
- Mekkora F nagysága?



Huzal húzási példa megoldása

- Sugárirányú nyúlás: $\varphi_r = ln\frac{d_f}{d_0}$=-0.174
- Érintő irányú nyúlás: $\varphi_t = \varphi_r$=-0.174
- Hosszirányú nyúlás: $\varphi_z = -(\varphi_r + \varphi_t)$=0.348
- Összehasonlító alakváltozás:$\varphi_{öf} = \sqrt{\frac{2}{3}(\varphi_r^2 + \varphi_t^2 + \varphi_z^2)}$=0.348
- Alakítási szilárdság: $k_{ff} = A\varphi_{öf}^n$=533.35 MPa
- Közepes alakítási szilárdság:
  - Számtani középpel: $K_{fk}=(k_{f0}+k_{ff})/2$=359.9 MPa – nem pontos!
  - Integrál középpel: $k_{fk} = \int_0^{\varphi_{öf}} A\varphi_{ö}^n d\varphi/\varphi_{öf} = \frac{A}{n+1}\varphi_{öf}^n$=431.9 MPa
- $\sigma_z = k_{fk}\varphi_{öf}\left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3}\frac{\alpha}{\varphi_{öf}}\right)$=283.1 MPa
- $F=\sigma_z A_f$=3922.2 N

Alakítás mukaszükséglete

- Elemi munka: $dw = k_f(\varphi_ö) d\varphi_ö$
- Fajlagos munka: $w = \int_0^{\varphi_{ö1}} k_f(\varphi_ö)\, d\varphi_ö = \int_0^{\varphi_{ö1}} A\varphi_ö^n d\varphi = \frac{A}{n+1}\varphi_{ö1}^{n+1} = k_{fk}\varphi_{ö1}$
- Teljes munka: W=wV homogén alakváltozási állapot esetén
  $W = \int w(x,y,z)dV$ inhomogén alakvált. állapot esetén.
- Példa: Az előző példán határozzuk meg a képlékeny tartományban az ideális fajlagos és teljes munkát!
- $w_{id} = k_{fk}\varphi_{öf} = 150.3 \cdot 10^{-3}$ J/mm^3
- $V = \frac{m\pi}{12}\left(d_0^2 + d_f^2 + d_0^2 d_f^2\right)$=24.87 mm^3 - csonkakúp térfogata
- $m = \frac{d_0 - d_f}{2tg\alpha}$=1.493 mm - csonkakúp magassága
- W_{id}=3.75 J

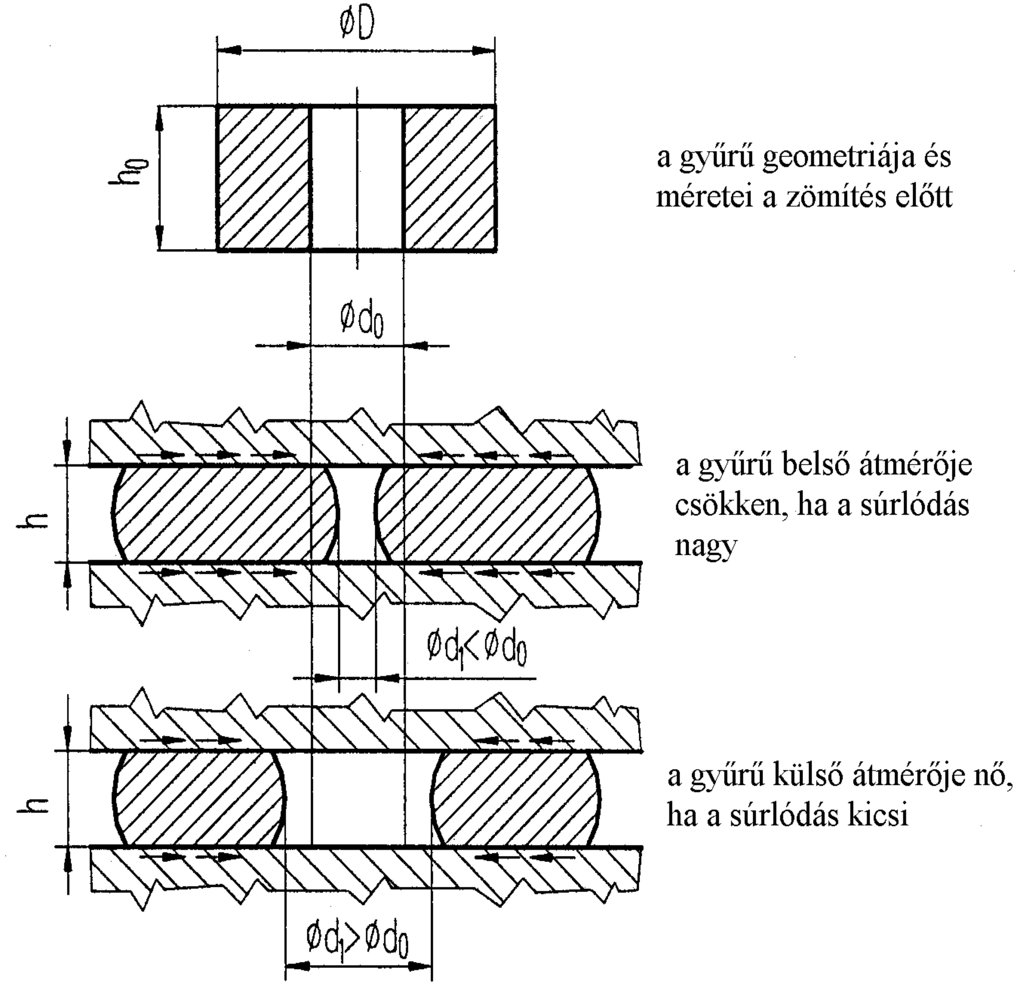
Súrlódás

- Befolyásolja:
  - Képlékeny zónát
  - Alakító erőt
  - Munkát, teljesítményt
  - Szerszámkopást → alak és méretpontosság
    → szerszám élettartam
  - Felületi minőséget
- Súrlódást befolyásoló tényezők:
  - Felületi érdesség
  - Kenőanyag minősége, mennyisége
  - Hőmérséklet
  - Relatív sebesség
  - Érintkezési nyomás

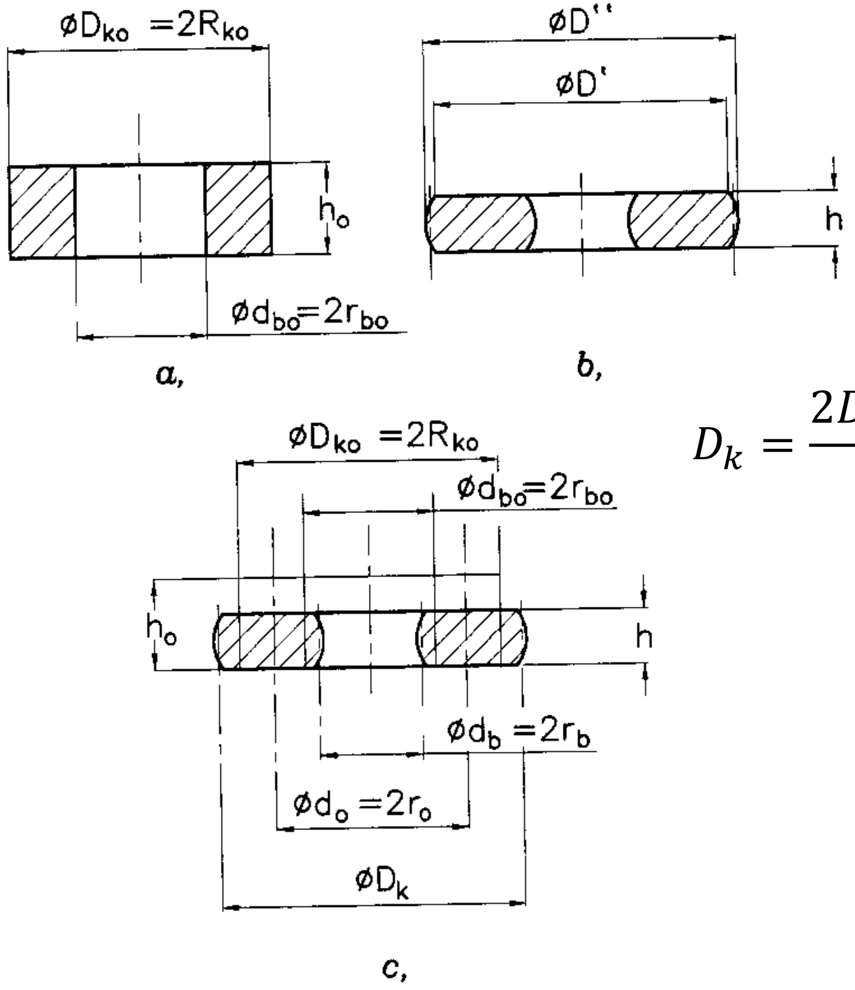
- Súrlódási viszonyokat a súrlódási tényezővel jellemezzük.
- $\mu = \frac{\tau_s}{\sigma_n}$ Coulomb elmélet
- $0 \leq \mu \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.57$
- Kudo féle súrlódási szám: $m = \frac{\tau_s}{\tau_f}$
- $\mu = m\sqrt{3}$

Súrlódási tényező mérése

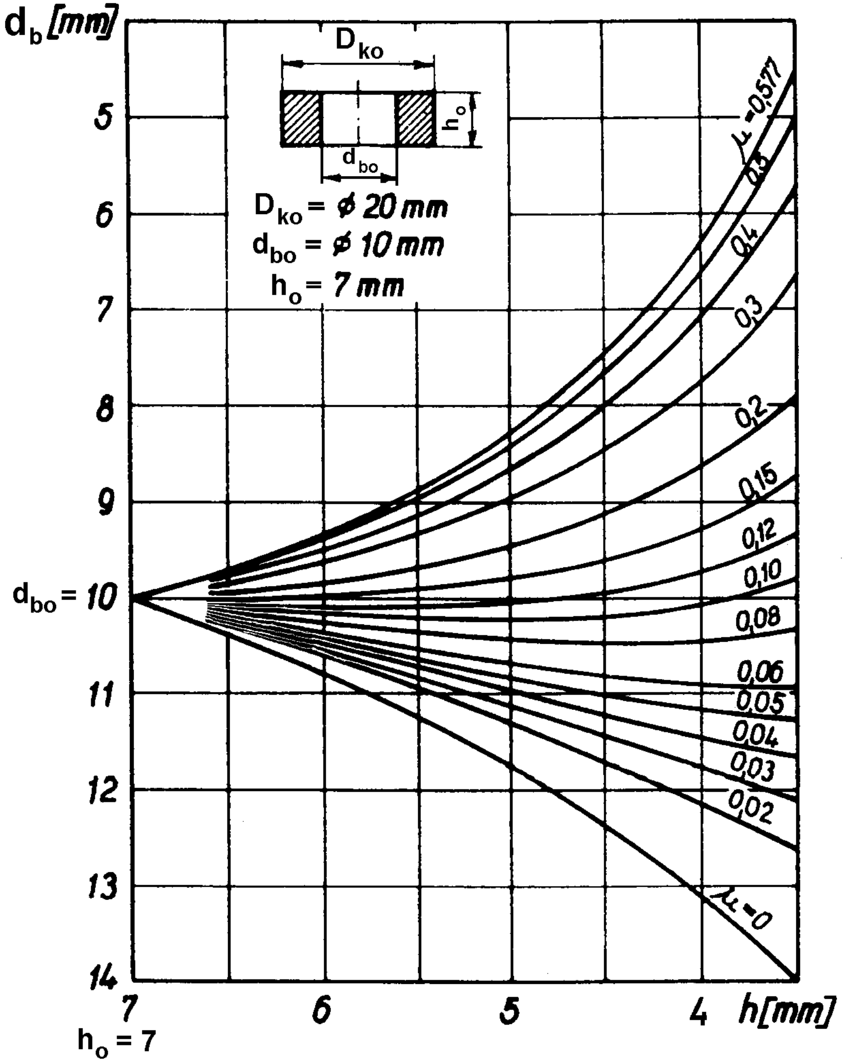
- Szalaghúzó próba
- Nyújtva hajlító próba
- Gyűrűzömítő vizsgálat
  - Ha µ kicsi a belső Ø kismértékben nő
    külső jelentősen nő
  - Ha µ nagy a belső Ø csökken
    külső kis mértékben nő
- Semleges réteg sugara: $r_0 = \sqrt{\frac{R_{k0}^2 - h_0 - R_k^2 h}{h_0 - h}}$



Súrlódási tényező meghatározása

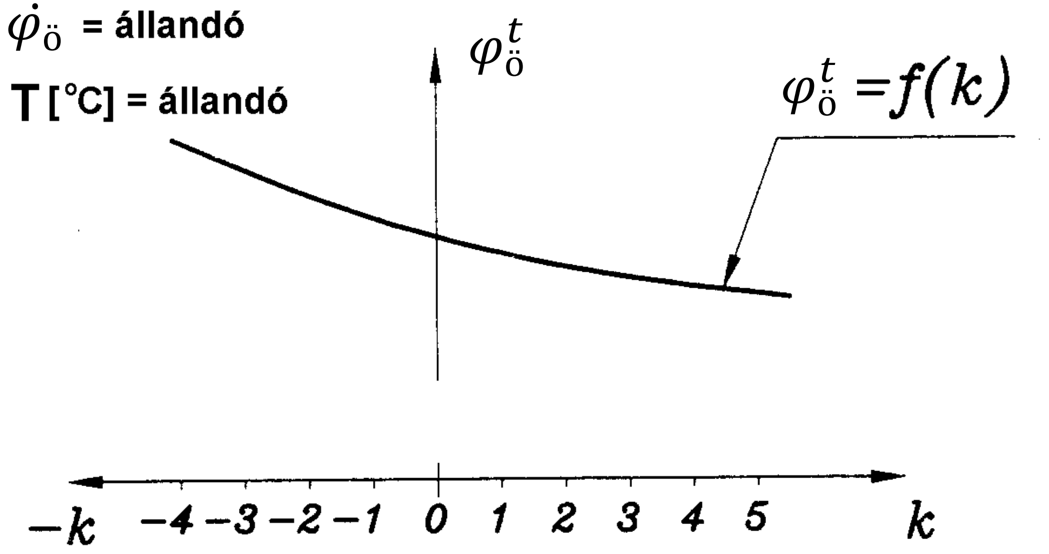


$$D_k = \frac{2D'' + D'}{3}$$



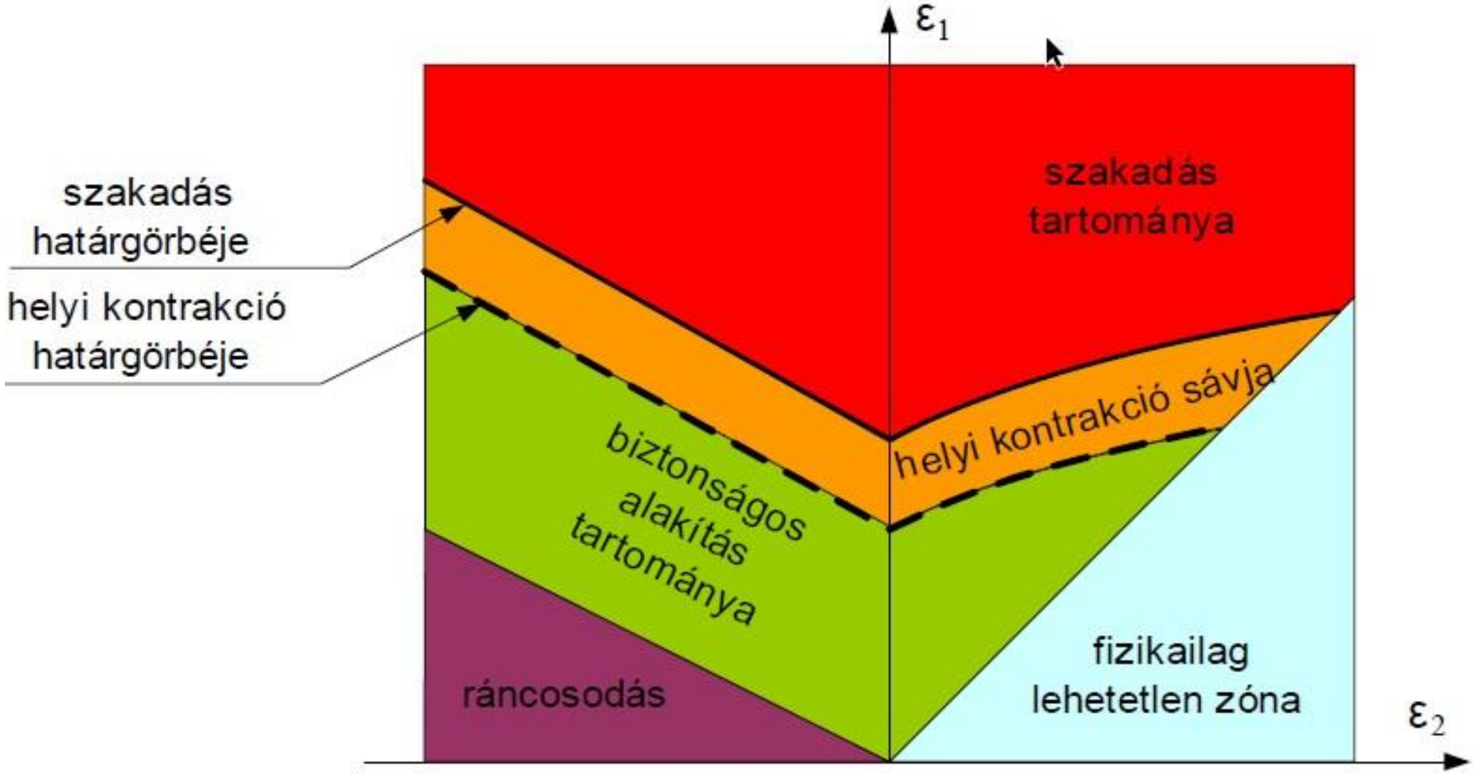
Alakíthatósági határállapot

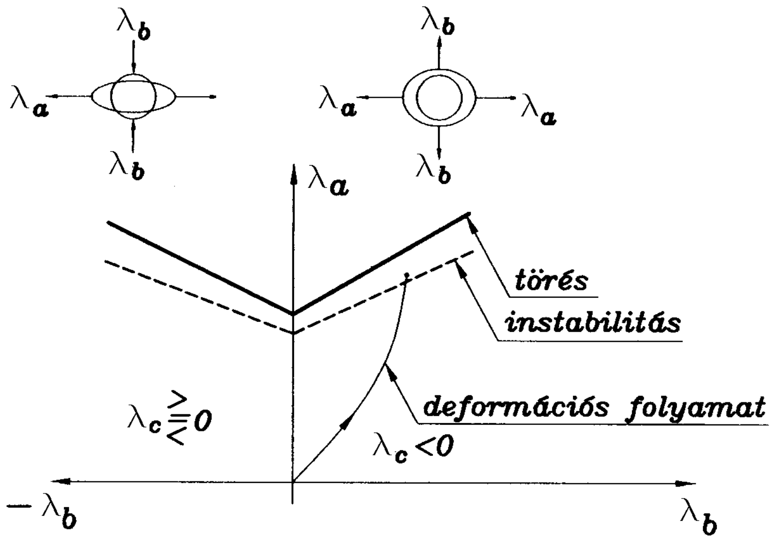
- $\varphi_{ö}^{t} = f(T, \dot{\varphi}, \sigma, A)$
- A – anyagszerkezet hatását figyelembe vevő függvény
- k – feszültségállapot mutató
- k= $\frac{\sigma_m}{k_f}$ - σ_m - középfeszültség



Térfogatalakításra érvényes alakíthatósági határgörbe

Alakíthatósági határállapot





Az alakítási határdiagram különféle károsodási határesetek feltüntetésével