

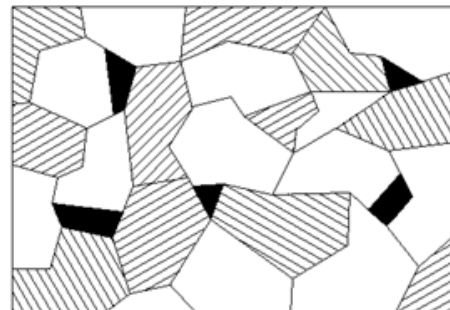
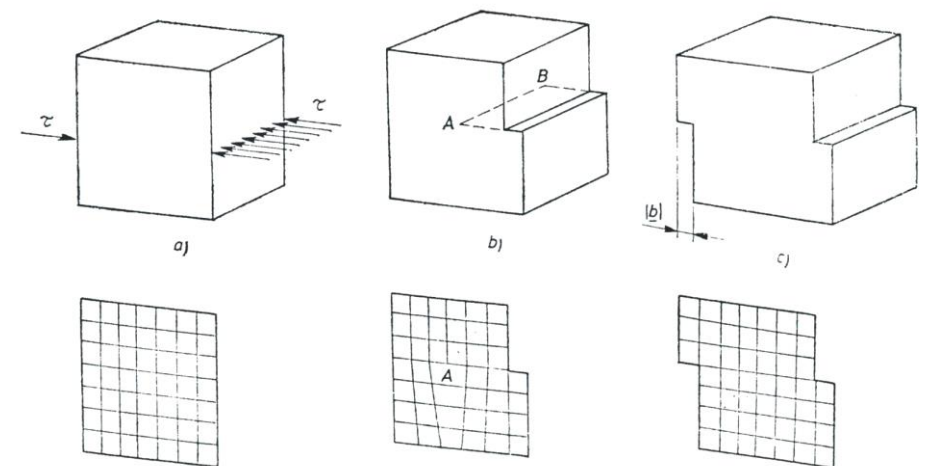
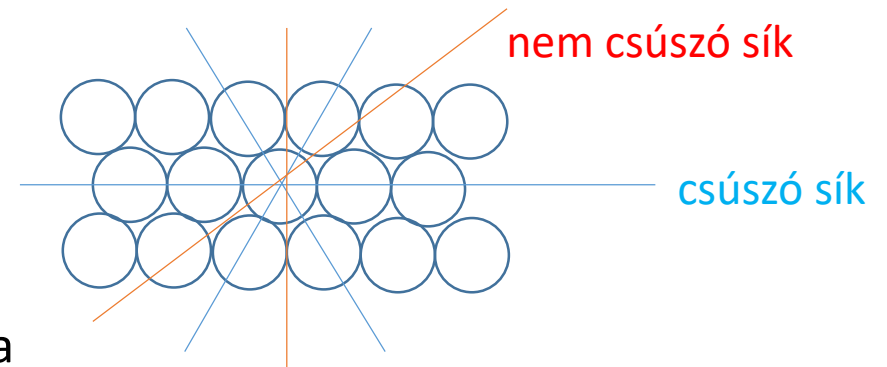
Képlékeny alakítás elméleti alapjai

Képlékenységtan jelentősége

- Szilárdságtan
 - szerkezetek méretezése – nem engedünk meg maradó alakváltozást
 - Méretezés alapja a folyáshatár
 - Tervezői döntés, a biztonsági tényező értéke $\rightarrow \sigma_{\text{meg}}$
- Képlékenységtan
 - Cél a kívánt alak létrehozása maradó alakváltozással
 - Anyagfolytonosság megszakítása nélkül
 - Feszültségi szint meghaladja a folyáshatárt
- Számos gyártási folyamat alapja
 - Hajlítás
 - Mélyhúzás
 - Mélynyomás
 - Zömítés
 - Redukálás
 - Hidegfolytatás
 - Kovácsolás
 - Hengerlés
- A képlékenység nem abszolút tulajdonság
 - függ: fém állapota, szerkezete, terhelés módja, szerszám kialakítása
 - Azonos fém más körülmények között másképpen viselkedik

Képlékeny alakváltozás mechanizmusa

- Csúszási mechanizmus
 - A képlékeny alakváltozás a legsűrűbben elhelyezkedő atomsíkok mentén megy végbe (csúszó sík)
 - A csúszósíkon belül vannak csúszási irányok
 - A képlékeny alakváltozásban fontos szerepe van a rácshibáknak (diszlokációk)
- Kristályok tulajdonságai anizotrópok – irányfüggőek
- Fémek polikristallin szerkezetűek – makroszkópicusan izotrópok

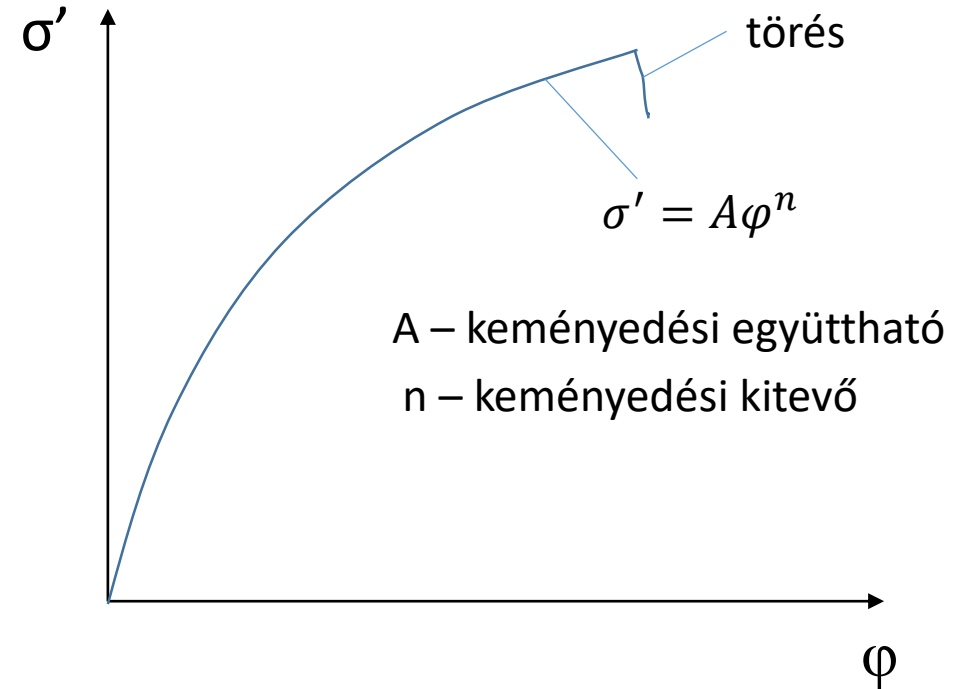


Hőmérséklet hatása a képlékeny alakváltozásra

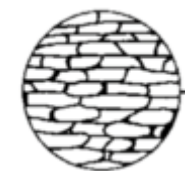
- Hőmérséklet alapján csoportosítva:
 - Hidegalakítás $T_{al} < T_{rekr}$
 - Melegalakítás $T_{al} > T_{rekr}$
- Az újrakristályosodási hőmérséklet (T_{rekr}) választja el egymástól a hideg és a meleg alakítást.
 - A T_{rekr} nem állandó érték, jelentősége a melegalakításnál nagyobb.

Képlékeny hidegalakítás

- Kritériuma: $T_{al} < T_{rekr}$
- Hatása: mechanikai tulajdonágok megváltoznak
 - Szilárdsági tulajdonságok: R_e , R_m , HV nő
 - Alakváltozási jellemzők: A_5 , Z csökken
- A megváltozott tulajdonságok megmaradnak addig, amíg
 - tovább nem alakítják az anyagot képlékenyen
 - hőt nem közölnek az anyaggal.
- Alakítási textúra – alakítás hatására meghatározott kristálytani rendezettséget vesz fel az anyag → anizotróppá válik



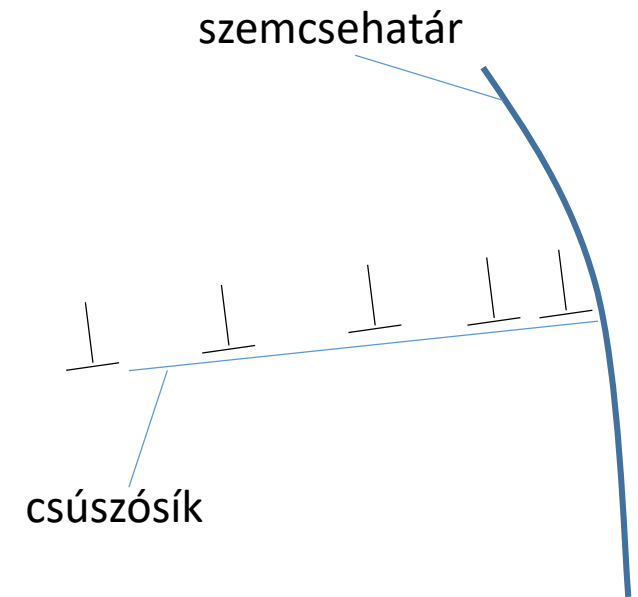
Alakítás előtt



Alakítás után

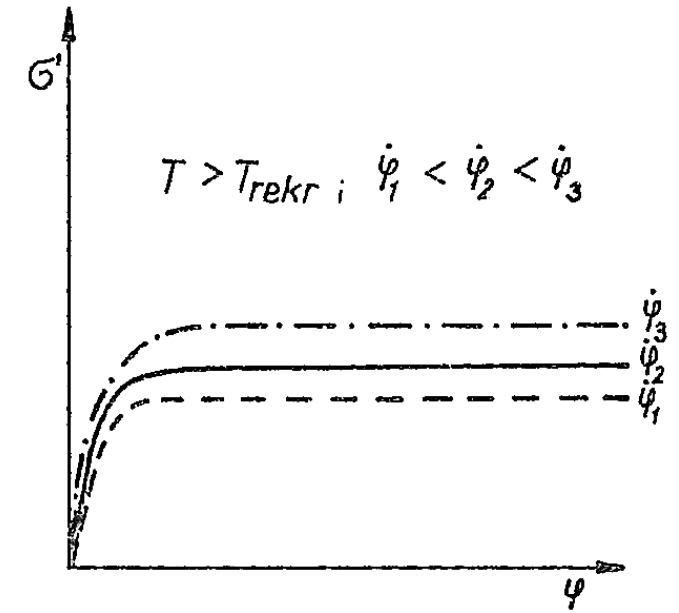
Képlékeny hidegalakítás

- Alakítási maradó feszültség:
 - Kedvező: nyomó feszültség – kifáradási határ nő
 - Kedvezőtlen: hajlítás utáni visszarugózás
fokozott korróziós hajlam
 - Megszűntetése: feszültségcsökkentő izzítás
újrakristályosító izzítás
- Alakítási keményedés:
 - Alakítás során nagy számú új diszlokáció keletkezik
 - A diszlokációk körül egy rugalmas feszültségtér alakul ki
 - A diszlokációk nem közelíthetik meg egymást tetszőlegesen
 - A diszlokációk mozgását idegen atomok, szemcsehatárok is akadályozzák
- Egyfázisú anyagok, színfémek szilárdságának növelése csak képlékeny hidegalakítással lehetséges.



Képlékeny melegalakítás

- Kritériuma: $T_{al} > T_{rekr}$
- Az újrakristályosodás alakítás közben és után zajlik le
- Alakítás közben az alakváltozás és az újrakristályosodás között egy dinamikus egyensúly alakul ki.
- Az alakváltozás keményedési folyamat.
- Újrakristályosodás lágyulási folyamat.
- Ha $D_0 = D_1$ nincs változás a tulajdonságokban
 $D_0 < D_1$ szemcse durvulás \rightarrow kerülendő!
 $D_0 > D_1$ szemcse finomodás \rightarrow alakadás mellett a cél



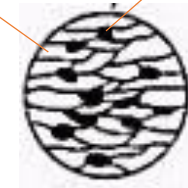
alakított
szemcse

újrakristályosodó
szemcse

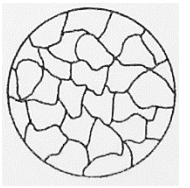


D_0

Alakítás előtt



Alakítás közben



D_1

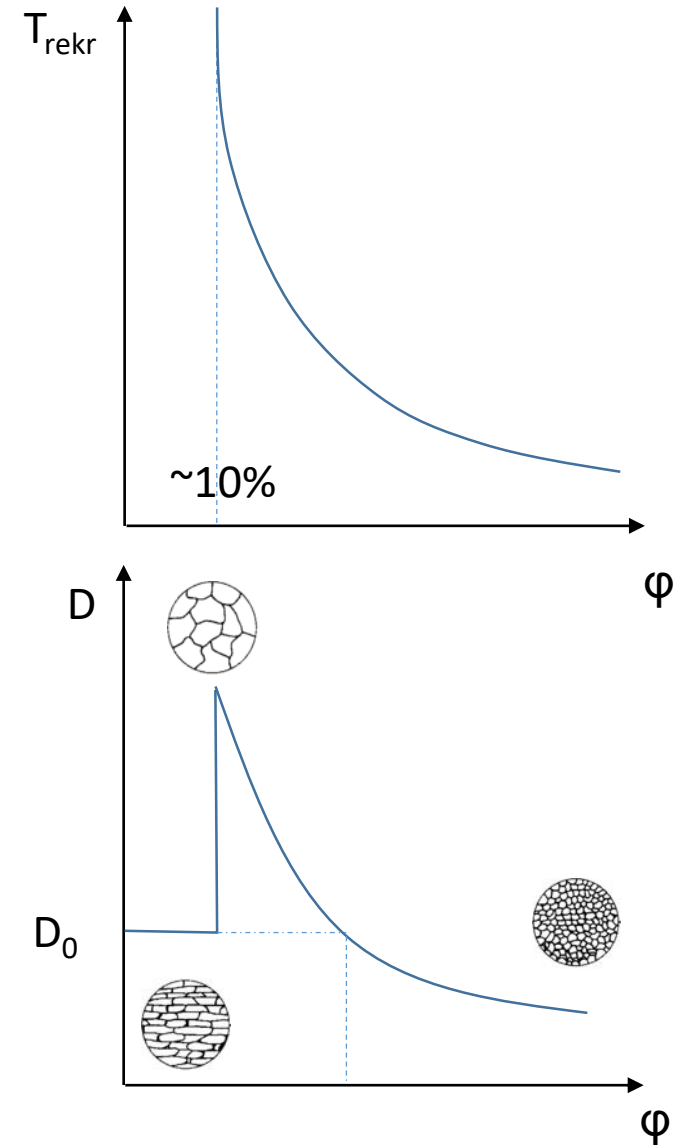
Alakítás után

Újrakristályosodás

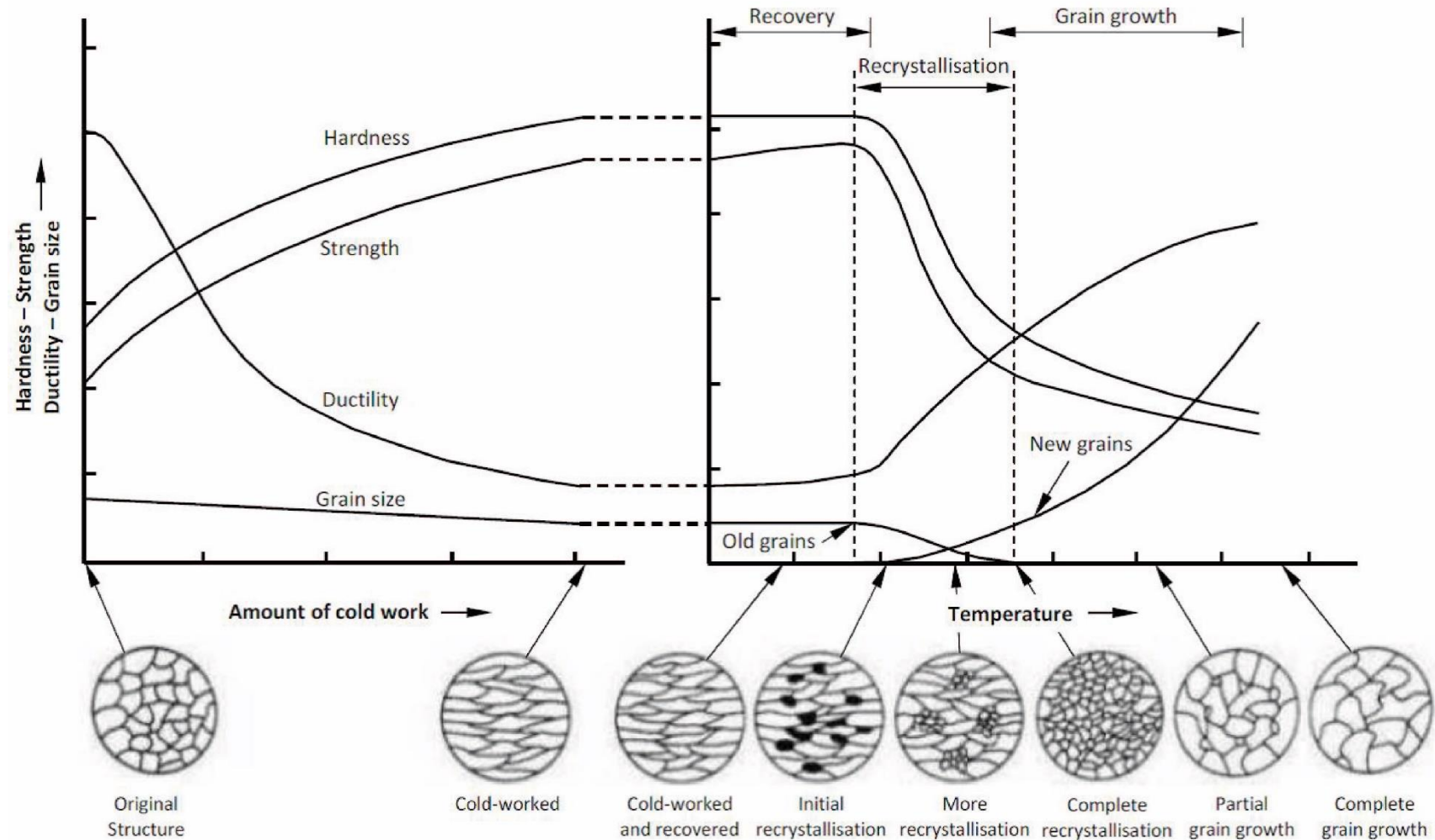
- Az újrakristályosodás megindulásához bizonyos mértékű képlékeny alakváltozás szükséges.
- Az újrakristályosodás időben végbemenő folyamat.

C45 anyag

φ	10	20	40	70
T_{rekr}	700	590	510	470

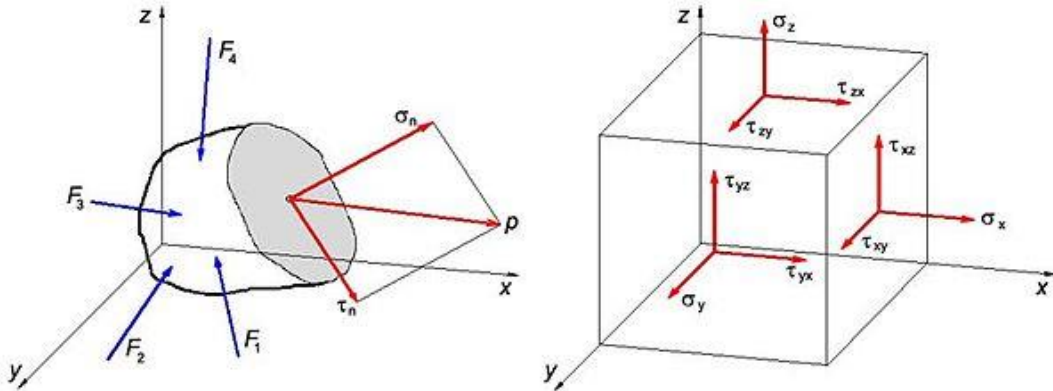


Újrakristályosodás hatása a tulajdonságokra



Feszültségi állapot

- Szemléltetése egy elemi kockán történik



- Feszültség tenzor

$$\bar{\bar{F}} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

- Kiválaszható egy olyan koordináta rendszer amikor $\tau=0 \rightarrow$ fő irányok

$$\bar{\bar{F}} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

Fő feszültségek: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

Invariánsok:

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \text{áll}$$

Közepes normálfeszültség (hidrosztatikus feszültség)

$$\sigma_0 = \frac{1}{3} I_1 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

Feszültségi állapot

- Hidrosztatikus állapotban képlékeny alakváltozás nem lehetséges, csak rugalmas alakváltozás.
- A képlékeny alakváltozásért a torzító feszültségek felelősek.
- Deviátor tenzor:

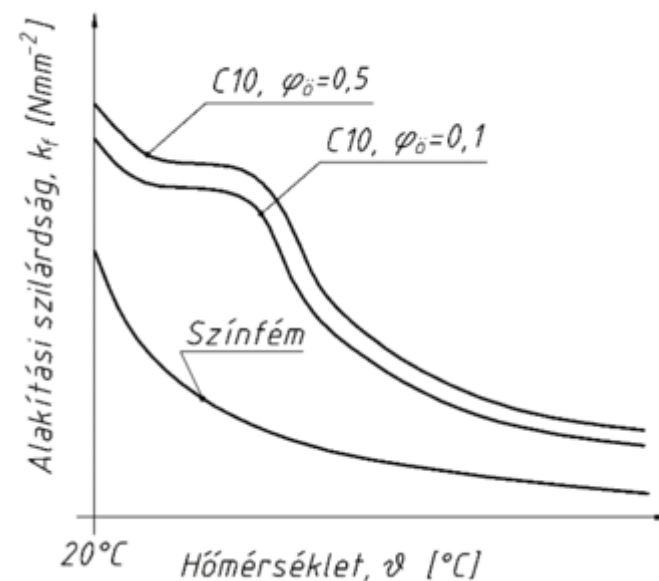
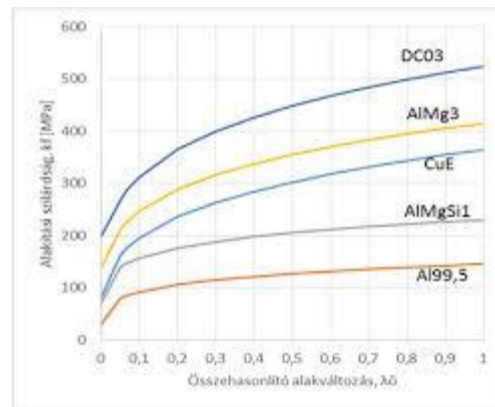
$$\overline{\overline{F_D}} = \begin{bmatrix} \sigma_1 - \sigma_0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 - \sigma_0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 - \sigma_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & 0 \\ 0 & 0 & S_3 \end{bmatrix}$$

Folyási feltétel

- Olyan összefüggés, amely megadja a feszültségek valamennyi olyan kombinációját, amikor a képlékeny alakváltozás megindul.
- Két elméletet használunk
 - Legnagyobb csúsztató feszültségek elmélete (Tresca- St. Venant)
 - Munka elmélet (Huber – Mises – Hencky)
- Közös megoldás: $\sigma_{red} = ck_f$, $c=1-1.15$
 - $\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3$
 - $\sigma_{red} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$
Ha $\sigma_2 = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}$, akkor $\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} k_f = 1.15 k_f$

Alakítási szilárdság

- Jele: k_f
- Definíciója: Egytengelyű feszültségi állapotban mérhető folyáshatár.
- Jellemzői:
 - Nem anyagi állandó, hanem anyagi jellemző.
 - $k_f = f(\varphi, T, \dot{\varphi})$



Alakváltóási állapot

- Relatív nyúlás: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ $d\varepsilon = \frac{dl}{l_0}$
- Kontrakció: $z = \frac{\Delta s}{s_0}$
 $Z = \frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}$ $\varepsilon = \frac{z}{1-z}$
- Logaritmikusan nyúlás (valódi nyúlás, mérnöki nyúlás):

$$d\varphi = \frac{dl}{l}$$

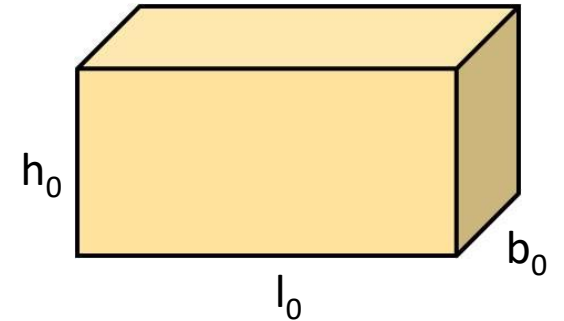
$$\varphi = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln l_1 - \ln l_0 = \ln \frac{l_1}{l_0}$$

$$V = l_0 b_0 h_0 = l_1 b_1 h_1$$

$$\frac{l_1 b_1 h_1}{l_0 b_0 h_0} = 1$$

$$\ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} + \ln \frac{h_1}{h_0} = 0$$

$$\varphi_l + \varphi_b + \varphi_h = 0$$



Alakítási ellenállás

- Az alakító szerszám dolgozó felületén fellépő felületi nyomás.
- Jele: K

Folyási feltételből: $\sigma_1 - \sigma_3 = ck_f$



$$K = ck_f + \sigma_3$$

Nem anyagtulajdonság!

$K = f(k_f, \mu, \text{geometria})$

