



Anyagtudomány és Technológia Tanszék




Képlékenyalakítás 1.


Fémek technológiája

Dr. Orbulov Imre Norbert
Anyagtudomány és Technológia Tanszék

1



Miről lesz ma szó?



- Képlékenyalakítás fogalma
- Alakadási lehetőségek
- Melegalakítás vs. hidegalakítás
- Mechanikai alapfogalmak
- Alakítási határgörbék

2 / 22

2



Képlékenyalakítás



- Képlékenység: maradó alakváltozás anélkül, hogy az atomok közötti kötés felszakadna
- Képlékeny alakítás:
 - Új geometriai alakra hozás
 - A test tömege változatlan marad (többé-kevésbé)
 - Az anyagfolytonosság nem szakad meg
 - Viszonylag nagy alakváltozás, ipari folyamat
- Cél:
 - Alakadás
 - Tulajdonságok megváltoztatása

3 / 22

3



Alapfogalmak



- Képlékeny alakítás célja:
 - Alakadás (másolás és generálás)
 - Tulajdonságok befolyásolása
 - $\sigma_{kp} \uparrow$, $TTKV \downarrow$, $K_{IC} \uparrow$
- Termomechanikai eljárás
 - Melegalakítás ($T > T_{rekriszt}$, $T > 0,6T_{olv}$)
 - Fémeleg alakítás ($T \approx T_{rekriszt}$, $0,3T_{olv} < T < 0,6T_{olv}$)
 - Hidegalakítás ($T < T_{rekriszt}$, $T < 0,3T_{olv}$)
- Kapcsolódó anyagjellemzők
 - Alakítási szilárdság
 - Alakíthatóság

4 / 22

4



Alakadási lehetőségek



- Alakmásolás
 - egyszerű mozgással az alakos szerszámüregbe sajtoljuk az anyagot: bonyolult szerszám, egyszerű mozgás, a teljes térfogatot egyszerre alakítjuk (nagy alakítóerő)
- Alakgenerálás
 - egyszerű szerszámmal, bonyolult mozgással munkáljuk meg az anyagot, az alakítási zóna csak kis területre terjed ki (kis alakítóerő)

5 / 22

5



<https://www.youtube.com/watch?v=N2Ntbx98-Ak>

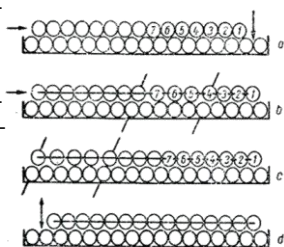
INKREMENTÁLIS ALAKÍTÁS**4:19**

6 / 22

6

att Az alakváltozás mechanizmusa

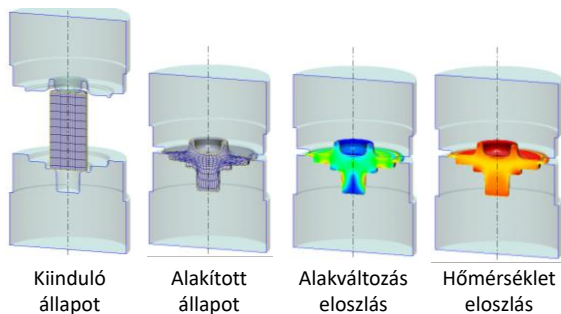
- Két alapvető feszültség
- Normális feszültség
 - Rugalmas alakváltozás – ... – törés
- Csúsztató feszültség
 - Rugalmas alakváltozás – képlékeny alakváltozás – törés



7 / 22

7

att Alakadás és tulajdonságok

Kiinduló
állapotAlakított
állapotAlakváltozás
eloszlásHőmérséklet
eloszlás

8 / 22

8

att Hidegalakítás vs. melegalakítás

- Hidegalakítás ($T < T_{\text{rekriszt}}$)
 - Keményedés
 - Alakváltozási képesség fokozatos kimerülése
 - Szemcsék megnyúlása
 - Diszlokációsűrűség növekedése
- Melegalakítás jellemzői ($T > T_{\text{rekriszt}}$)
 - Lágyulási folyamatok (megújulás, rekrisztallizáció)
 - Alakváltozás mértéke kevésbé korlátozott
 - A szemcseszerkezet megváltozik

9 / 22

9

att Hidegalakítás vs. melegalakítás

Melegalakítás		Hidegalakítás
$T > T_{\text{rekrizt}}$	Alakítás hőmérséklete	$T < T_{\text{rekrizt}}$
Kicsi, sebességfüggő	Alakítási szilárdság	Nagy, alakítástól függő
IT12, rossz	Pontosság	IT7, jó
Rossz (reve)	Felületi minőség	Jó, nagyon jó
Nem korlátozott	Alakíthatóság	Korlátozott
Kicsi, dinamikus	Szerszám mechanikai terhelése	Nagy
Nagy	Szerszám hőterhelése	Kicsi
Nagy	A termék mérete	Kicsi
Nagy (0,3-tapadás)	Súrlódás	Kicsi (~0,1)
Nagy	Energiaigény	Kicsi

10 / 22

10

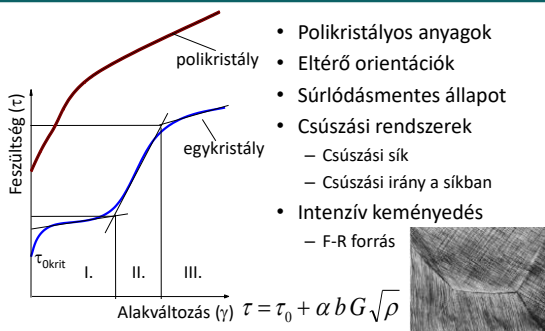
att Anyagi jellemzők

- Alakítási szilárdság
 - A képlékeny alakváltozás megindításához és fenntartásához szükséges egyenértékű feszültség
 - Jele: k_f , mértékegysége MPa, $k_f = k_f(T, \epsilon, d\epsilon/dt)$
- Alakíthatósági határ
 - Az alakváltozás azon mértéke, amelynél az anyagban makroszkópikus károsodás (instabilitás) lép fel

11 / 22

11

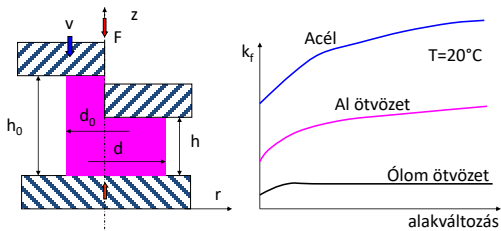
att Mi történik az anyagban?



12 / 22

12

att Alakítási szilárdság MŰEGYETEM 1782

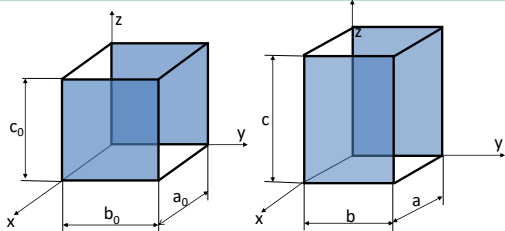


$$k_f = \frac{4F}{d^2\pi}, \quad \bar{\varepsilon} = \ln \frac{h_0}{h}, \quad \dot{\varepsilon} = \frac{v}{h}$$

13 / 22

13

att Alakváltozások MŰEGYETEM 1782



$$\varphi_x = \ln \frac{a}{a_0}, \quad \varphi_y = \ln \frac{b}{b_0}, \quad \varphi_z = \ln \frac{c}{c_0}, \quad \varphi_1 \geq \varphi_2 \geq \varphi_3$$

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varphi_3 \end{bmatrix}$$

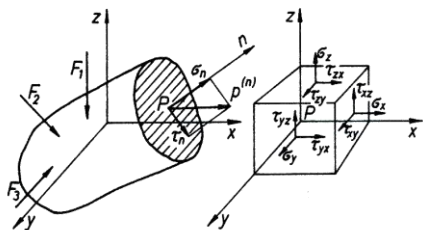
$$\bar{\varphi}_{\text{egyenértékű}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2}$$

Térfogatállandóság!

14 / 22

14

att Feszültségek MŰEGYETEM 1782



$$\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_s & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_s & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_1 - \sigma_s & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 - \sigma_s & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 - \sigma_s \end{bmatrix}$$

Adott DDKR-ben

Főfeszültségek

Hidroztatikus rész

Deviátoros rész

15 / 22

15



Mikor indul meg a képlékeny alakváltozás?



- Definíció szerint akkor, amikor az egyenértékű feszültség eléri az alakítási szilárdságot

– Huber-Mises-Hencky szerint

$$\bar{\sigma}^{HMH} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}$$

– Mohr szerint (alakítástechnikában nem elterjedt)

$$\bar{\sigma}^{Mohr} = \sigma_1 - \sigma_3$$

– Ha az egyenértékű feszültség nem éri el k_f -et, akkor csak rugalmas alakváltozás történik

– HMM-ba behelyettesítve, a folyási feltétel

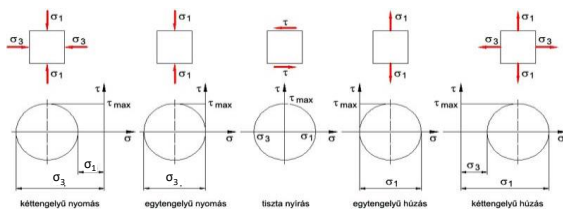
$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta k_f \quad \begin{array}{l} \beta=1, \text{ sík feszültség} \\ \beta=1,15, \text{ sík alakváltozás} \end{array}$$

16 / 22

16



Mohr körök



- Mohr szerint a folyás a legkisebb és legnagyobb főfeszültség k_f -nyi különbségénél indul meg
- σ_1 és σ_3 a szerszámterhelés is egyben
- Legkevésbé a nyírás terheli a szerszámot

17 / 22

17



Az alakítás hatásai



- Új alak, geometria jön létre
 - Makroszkópikus hatás
- Krisztallitok elnyúlnak, csúszási síkok irányba fordulnak, szálirány alakul ki – szennyezők az alakítás irányába állnak
 - Mikroszkópikus hatás
- Diszlokációk mozognak és képződnek (Frank-Read forrás)
 - Szubmikroszkópi hatás

18 / 22

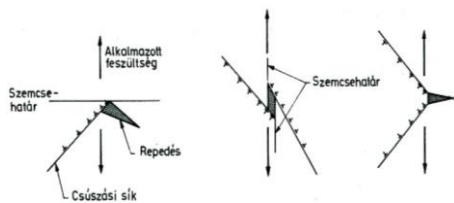
18



Diszlokációk



- A diszlokációsűrűség növekedésével az anyag „keményedik”
 - A szilárdság nő $\Delta\sigma = k\sqrt{d}$
 - Képlékeny alakváltozó képesség csökken



19 / 22

19



Alakítási ellenállás



- Az alakító erő irányába eső feszültség és az alakított felület szorzata
- Erő dimenziójú
- Nem összetévesztendő az alakítási szilárdsággal
- Az alakítási ellenállás adja a gépterhelést

20 / 22

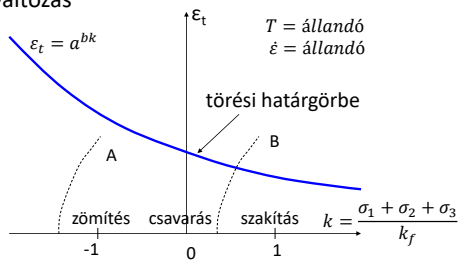
20



Alakíthatósági határ



- Törés (képlékeny instabilitás) nélkül elviselt alakváltozás



21 / 22

21



Dr. Orbulov Imre Norbert – orbulov@eik.bme.hu

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!



22
