



# Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai 7.

## Mechanikai tulajdonságok 2.

Kiemelt témák:

- ❖ Szilárdság, rugalmasság, képlékenység és szívósság összefüggései
- ❖ A képlékeny alakváltozás mechanizmusa kristályokban és ennek következményei
- ❖ A törés mechanizmusai
- ❖ Keménység

**Tankönyv  
fejezetei:  
16-17**

**HF:  
4. fej.:  
26, 27, 29, 30, 32,  
33, 34, 36**

**rugalmas** B mn 1. A rá ható erő következtében megváltozott alakját a hatás megszűntével visszanyerő. | Vmihez hozzáütődve róla visszapattanó.



visszarugózó képesség,  $\varepsilon_r$   
esetleg  
fajl. elaszt. deform. munka  $w_r$

**merev** B mn 1. Nem rugalmas, nem hajlékony <anyag, test>. | Rugalmasságát, hajlékonyságát vesztett <test(rész)>.



Young-modulus,  $E$

**képlékeny** C mn 1. *Műsz* Könnyen gyúrható, alakítható.

**erős** A I. mn 3. Károsító hatásoknak ellenálló, szilárd, tartós. *Erős szövet, vár.* Szh: *erős, mint a bőr*: nagyon tartós <szövet>.

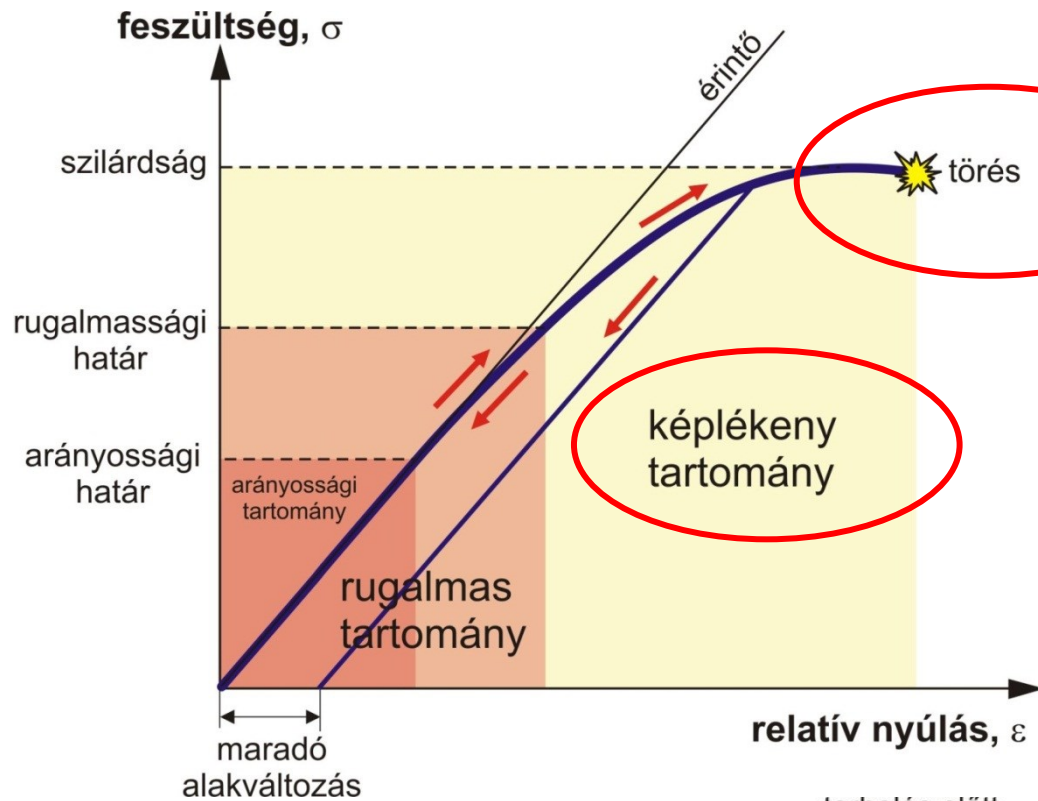
**gyenge** A gyöngye I. mn 2. Nagyobb megterhelést el nem viselő. *Gyenge köté.* | *nép*

**szilárd** B mn 1. Helyéből ki nem mozgatható, biztos, erős, tartós. *Szilárd építmény; szilárdan összeilleszt vmit.* 2. *Fiz* Határozott térfogatú és alakú <anyag, test, ill. ennek halmazállapota

**szívós** B mn 1. Nehezen törhető, szakítható, téphető v. rágható.

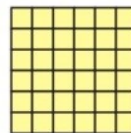
**kemény** A mn 1. A nyomásnak, megmunkálásnak ellenálló <szilárd anyag>.

# Terhelési diagram

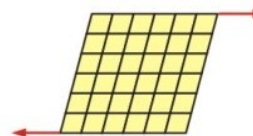


RUGALMAS  
ALAKVÁLTOZÁS

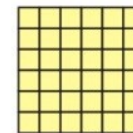
terhelés előtt



terhelve

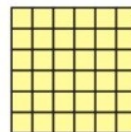


terhelés  
megszüntette

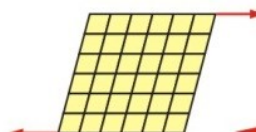


KÉPLÉKENY  
ALAKVÁLTOZÁS

terhelés előtt

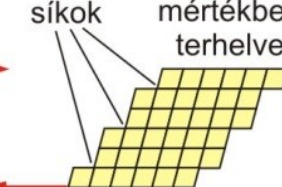


terhelve

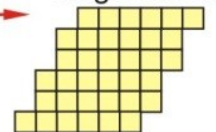


csúszási  
síkok

nagyobb  
mértékben  
terhelve



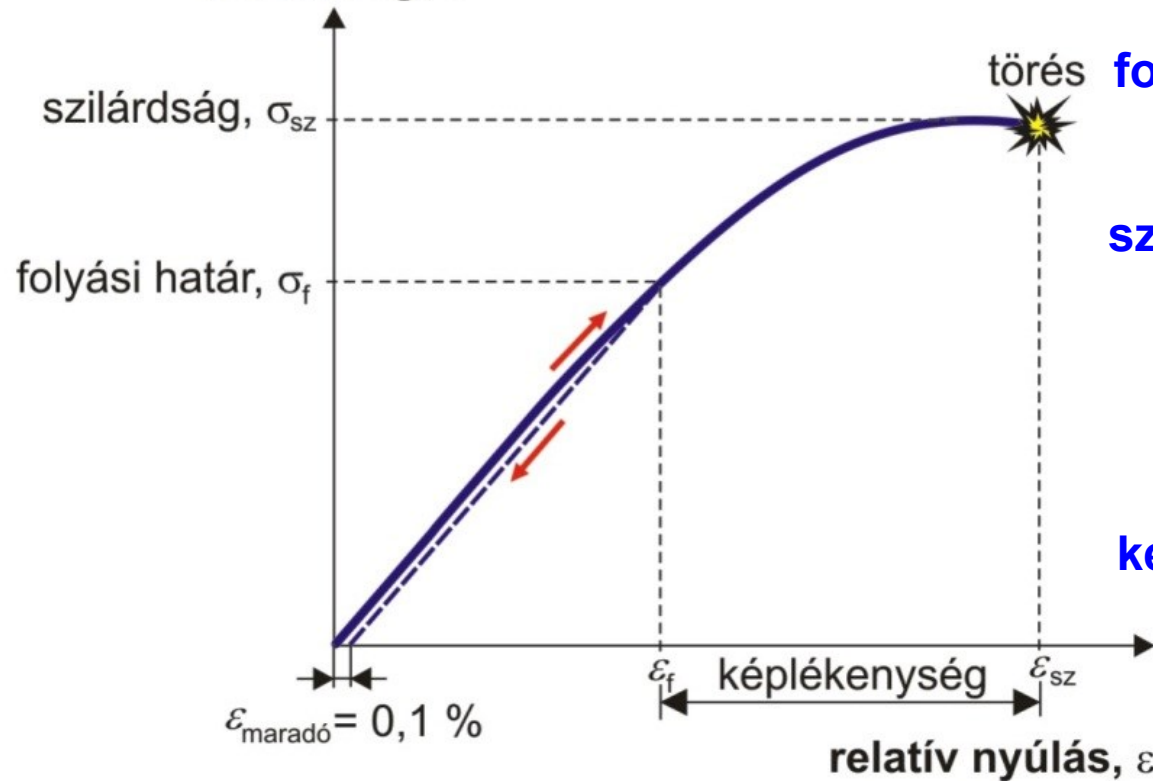
terhelés  
megszüntette



# Képlékeny viselkedés



feszültség,  $\sigma$



**folyási határ,  $\sigma_f$  (Pa)**

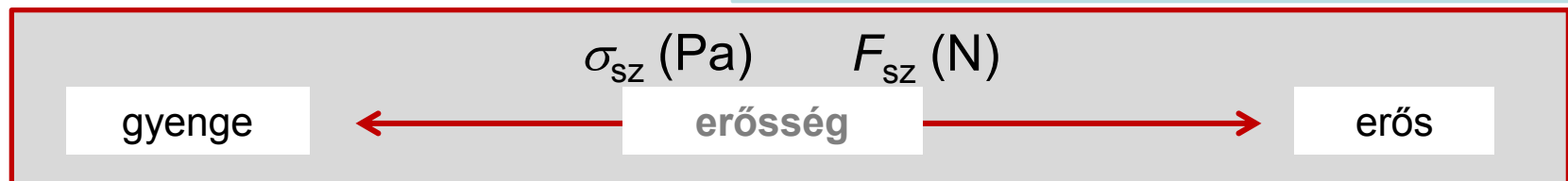
**szilárdság,  $\sigma_{sz}$  (Pa)**

- szakító,
- nyomó,
- hajlító,
- nyíró,
- csavaró

**képlékenységi tartomány,  $\varepsilon_{sz} - \varepsilon_f$  (%)**

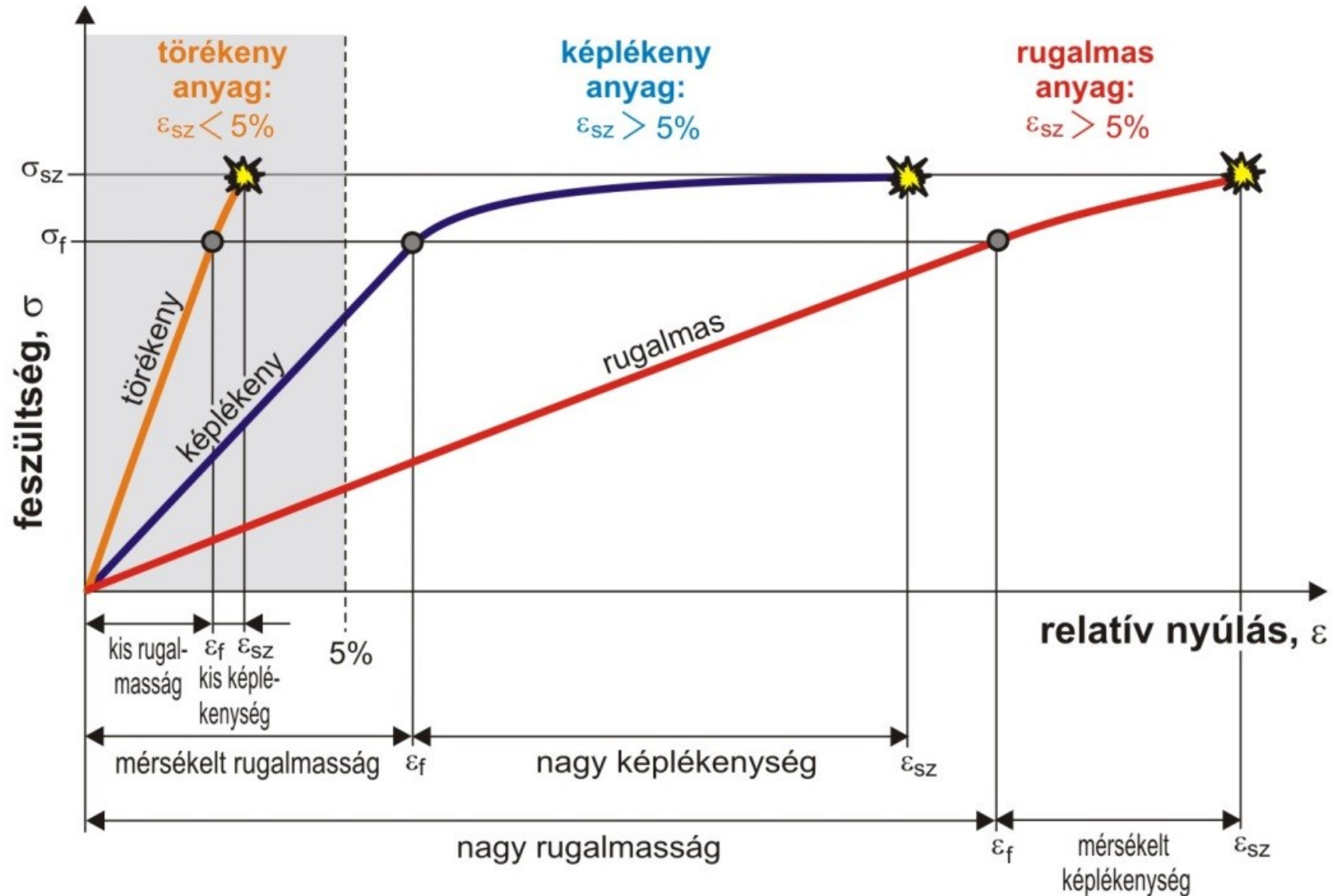
- nyújthatóság,
- összenyomhatóság,
- hajlíthatóság,
- ...

**erős** A I. mn 3. Károsító hatásoknak ellenálló, szilárd, tartós. *Erős szövet, vár.* Szh: *erős, mint a bőr*: nagyon tartós <szövet>.



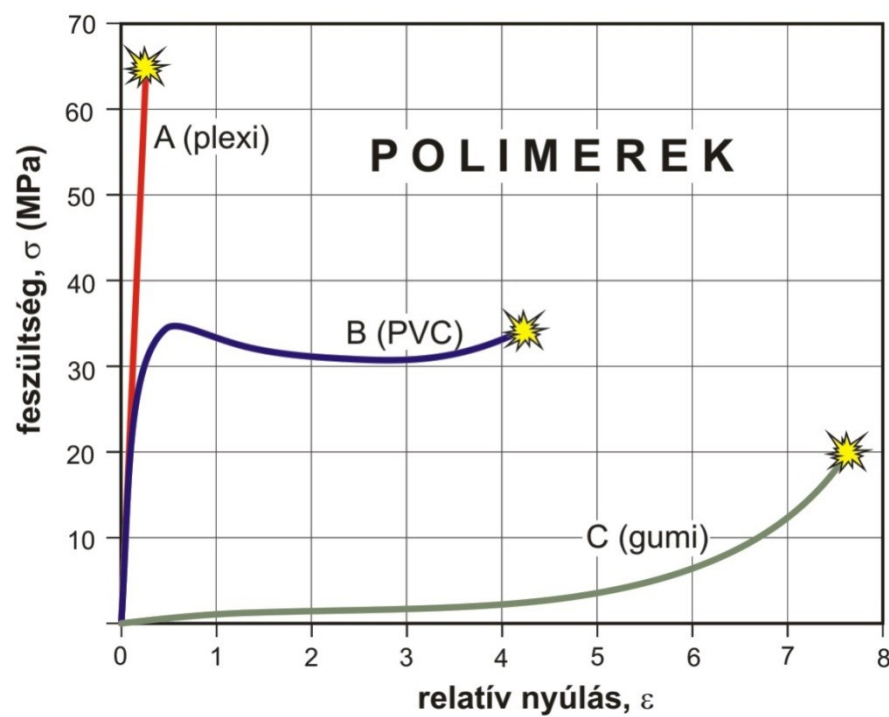
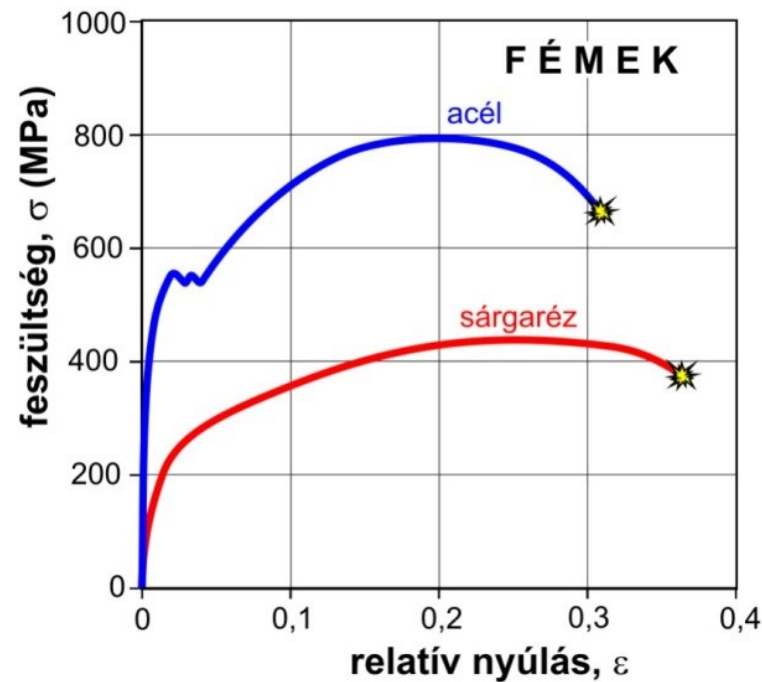
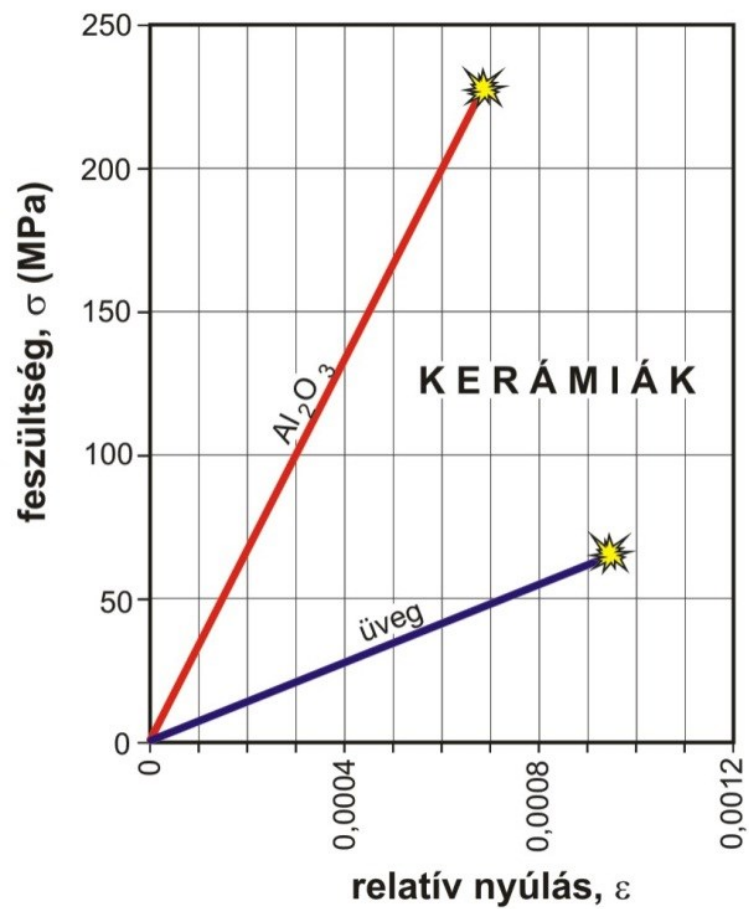
**Néhány fogászati anyag szakító,  
ill. nyomó szilárdsága:**

anyag	$\sigma_{sz, \text{szakító}}$ (MPa)	$\sigma_{sz, \text{nyomó}}$ (MPa)
fogzománc	$\approx 10$	$\approx 400$
dentin	$\approx 110$	$\approx 300$
kerámiák	5-400	20-5000
porcelán	$\approx 25$	$\approx 300$
polietilén (nagy sűrűségű)	$\approx 30$	
amalgám	30-55	200-450
PMMA (polimetilmetakrilát)	$\approx 50$	$\approx 80$
üveg	$\approx 50-70$	$\approx 700$
arany	108	
alumínium-oxid	$\approx 170$	$\approx 2100$
cirkónium-dioxid	$\approx 250$	$\approx 2500$
aranyötvözetek	300-900	
Pd-Ag ötvözetek	400-700	
Ni-Cr ötvözetek	400-900	
Co-Cr ötvözetek	600-800	
Ti ötvözetek	900-1100	
szénszál (61%) erősítésű epoxi	$\approx 1700$	



**képlékeny** C mn 1. Műsz Könnyen gyúrható, alakítható.

## Példák:



$$\varepsilon_f \approx \varepsilon_r$$

rugalmatlan



rugalmasság



rugalmas

$$\varepsilon_f - \varepsilon_{sz}$$

nem  
képlékeny



képlékenység



képlékeny

$$\varepsilon_{sz}$$

nem  
alakítható  
(= törékeny)



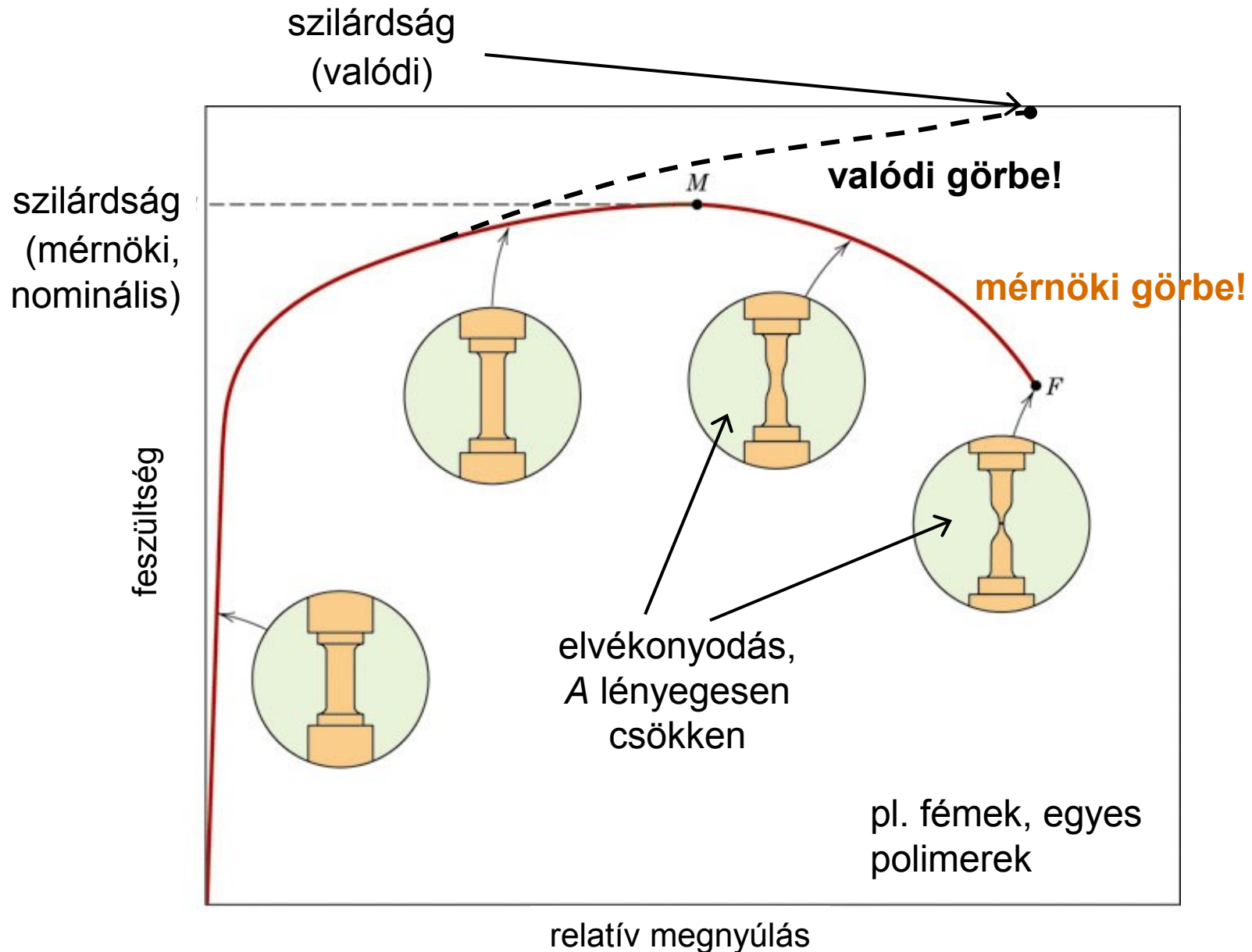
alakíthatóság



alakítható

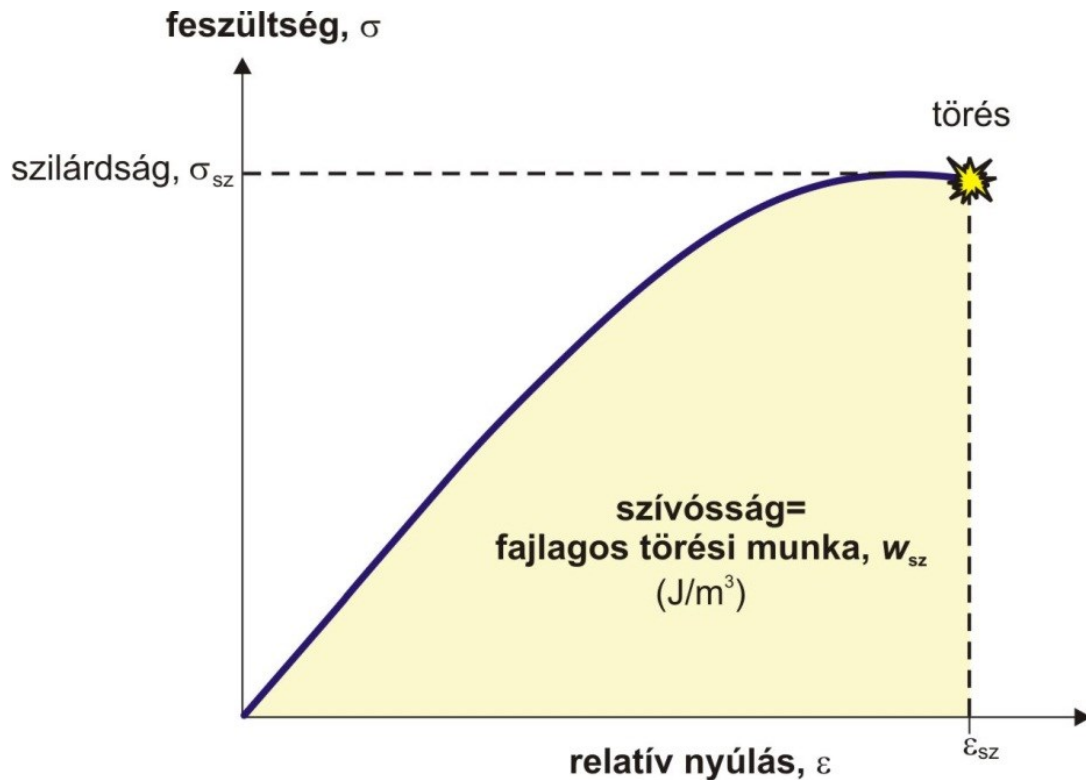


# Mérnöki rendszer vs. „valódi rendszer”

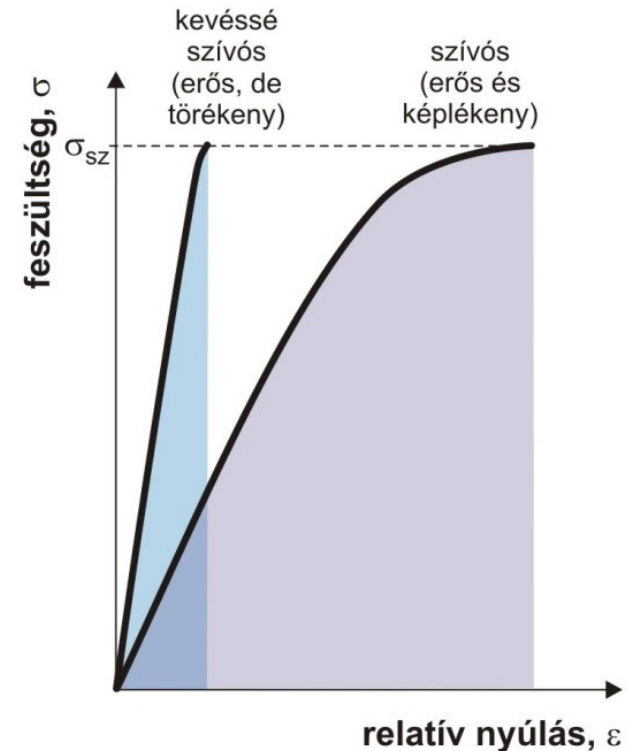


# Szívósság

vagy fajlagos törési munka ( $w_{sz}$ )



Szilárdság  $\leftrightarrow$  szívósság:



**szívós** B mn 1. Nehezen törhető, szakítható, téphető v. rágható.

$w_{sz}$  ( $J/m^3$ )

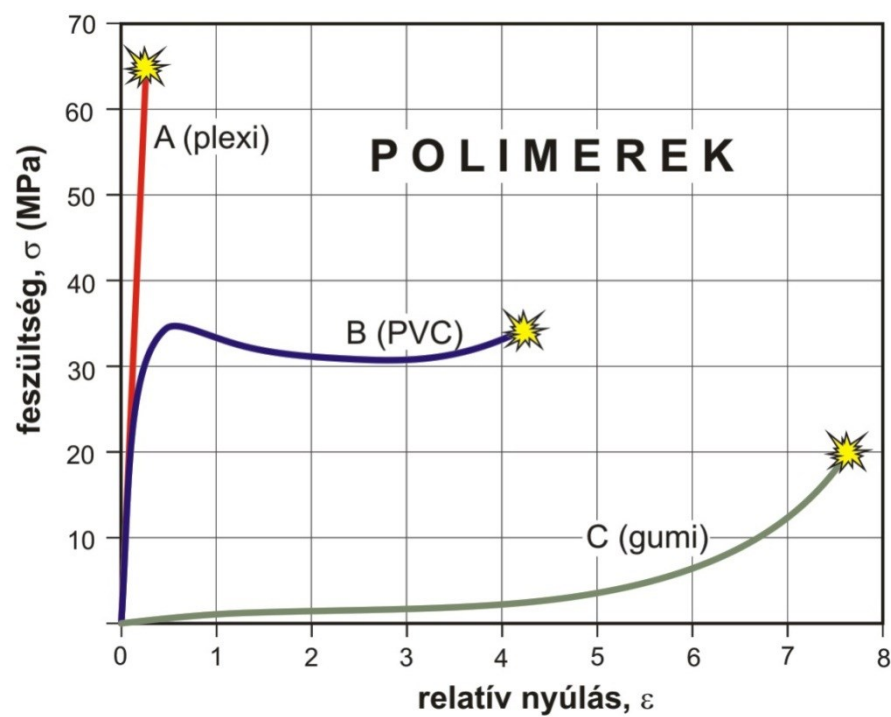
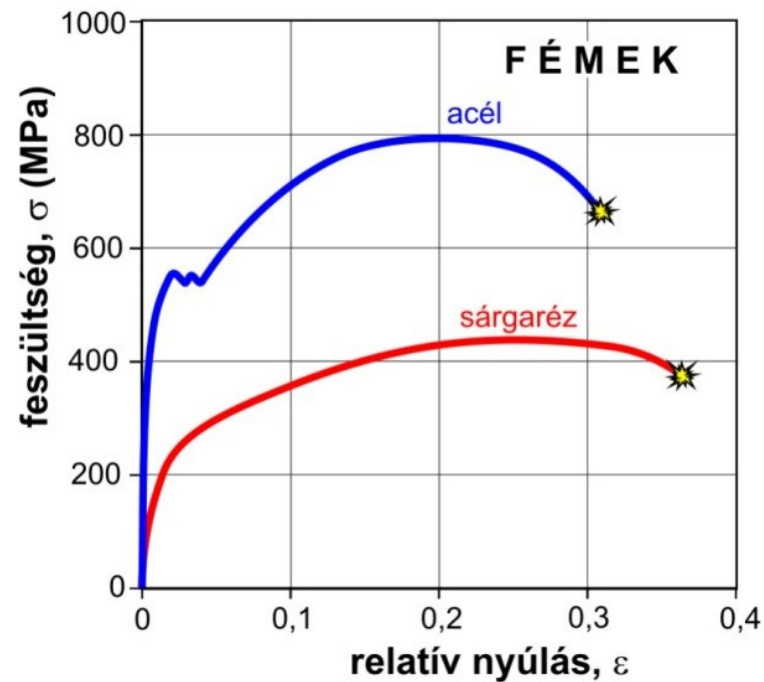
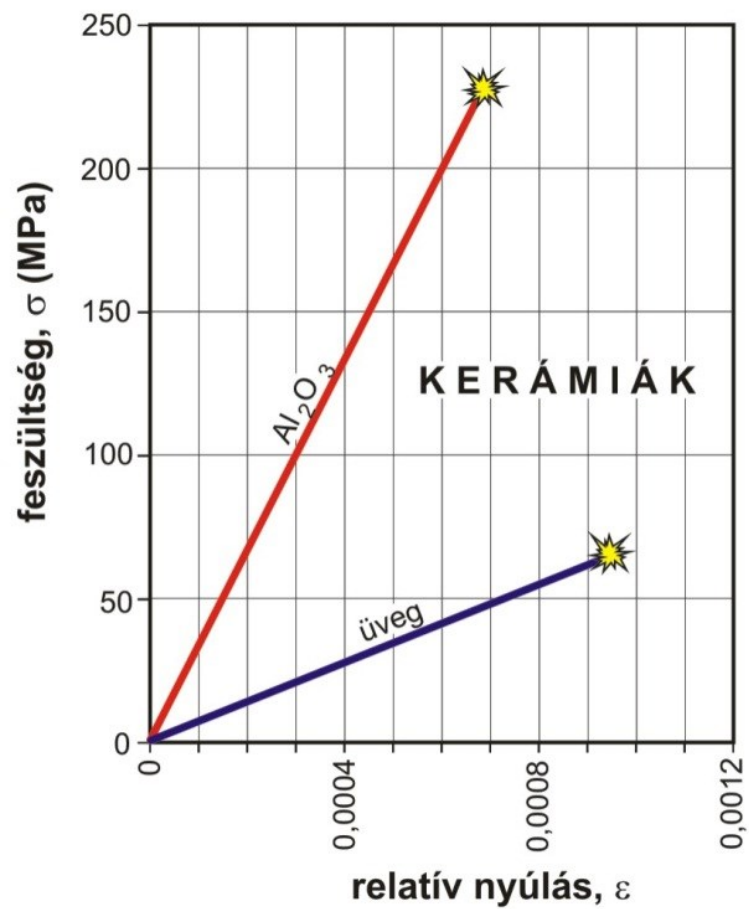
$W_{sz}$  (J)

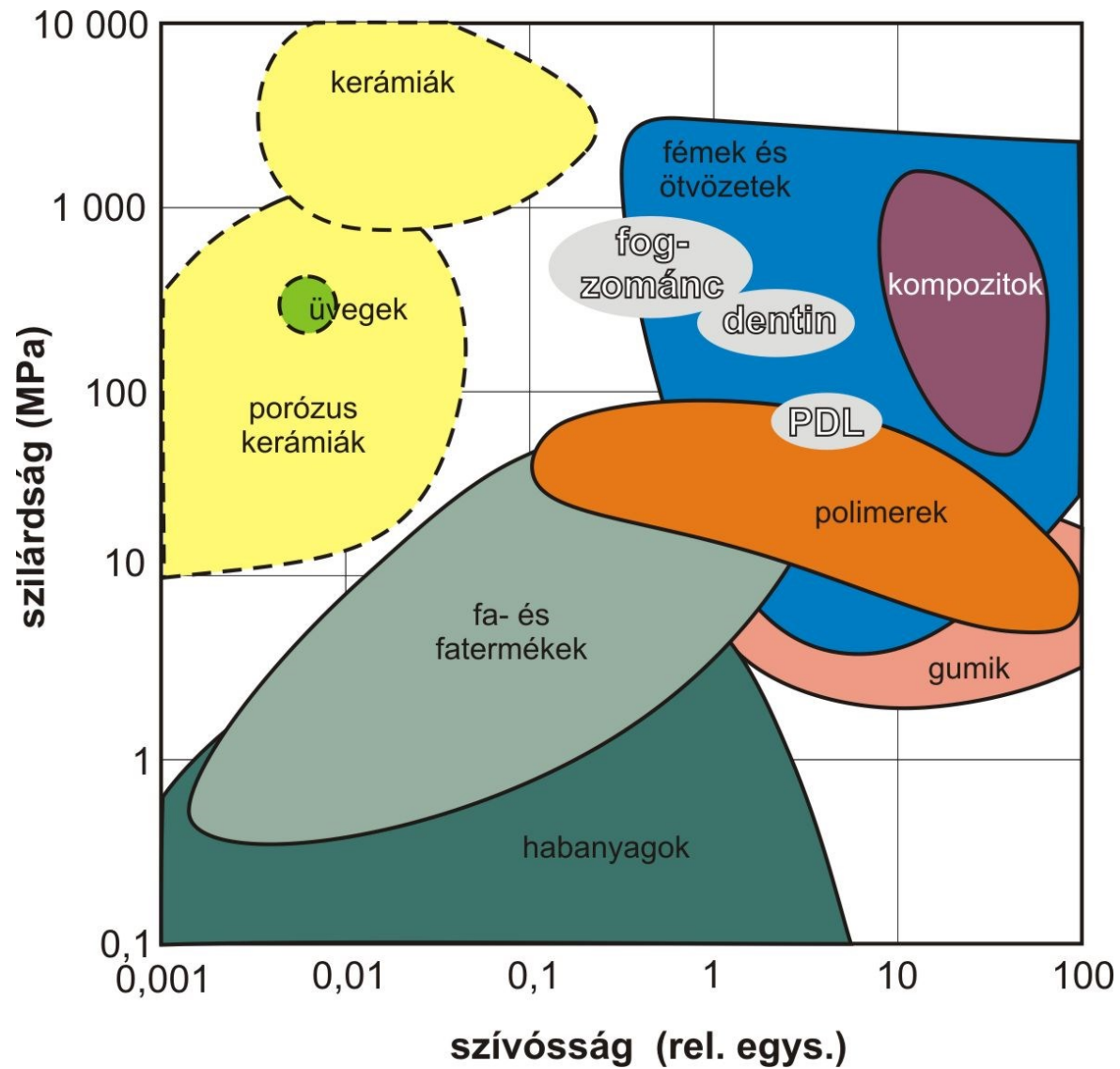
(törékeny)  
nem szívós

(statikus) szívósság

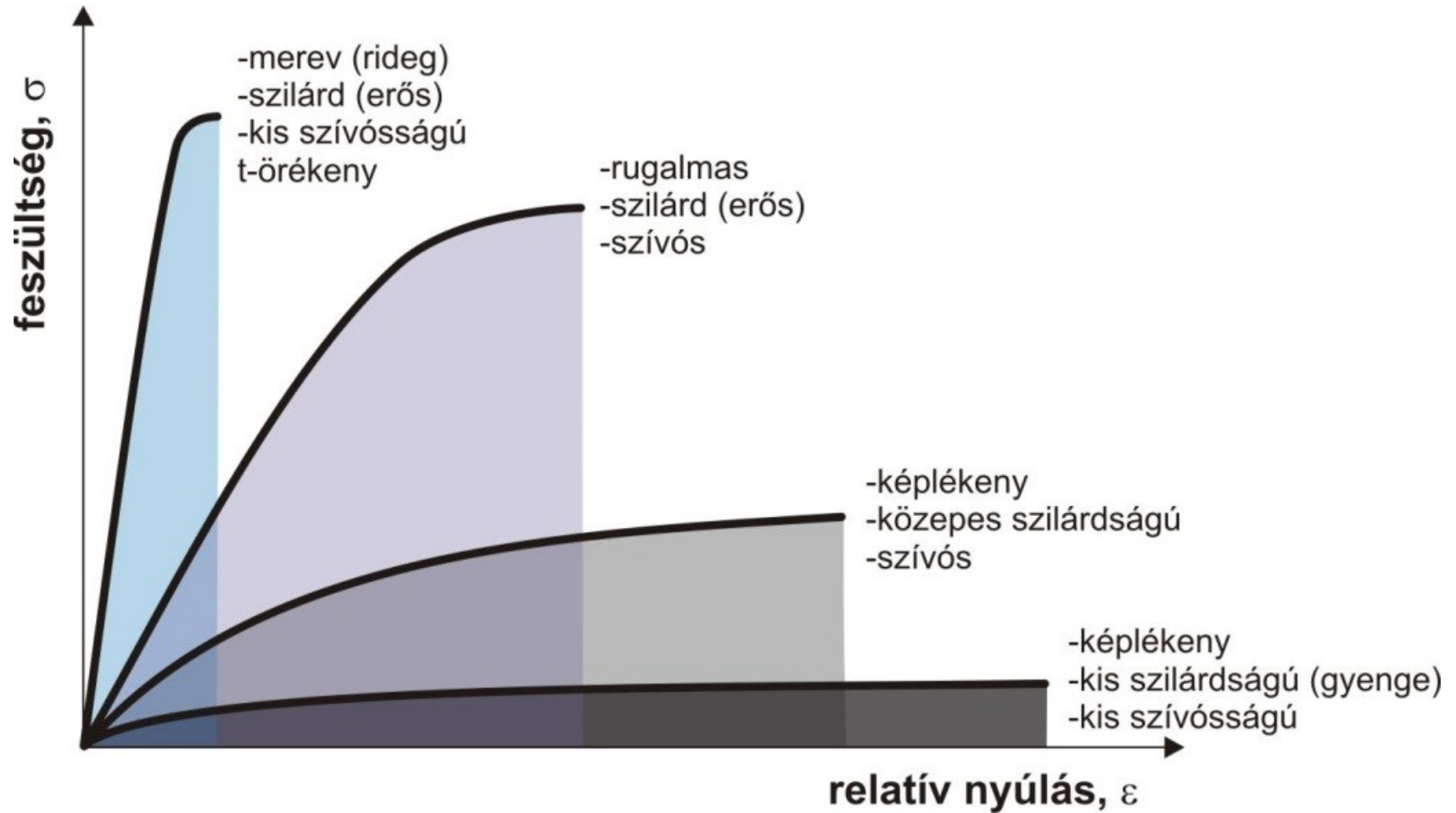
szívós

## Példák:

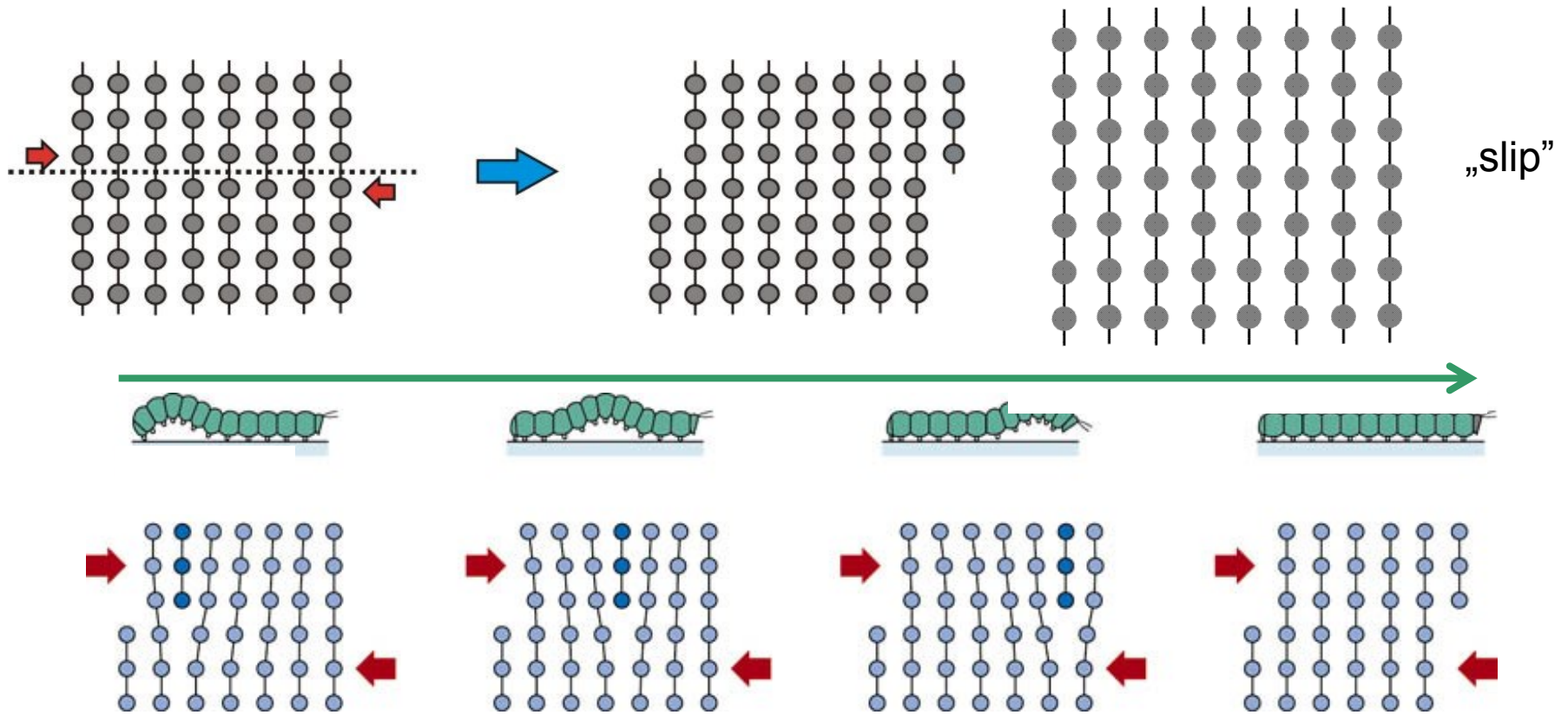




# Különféle tulajdonságok áttekintése



## A képlékeny alakváltozás mechanizmusa kristályokban:

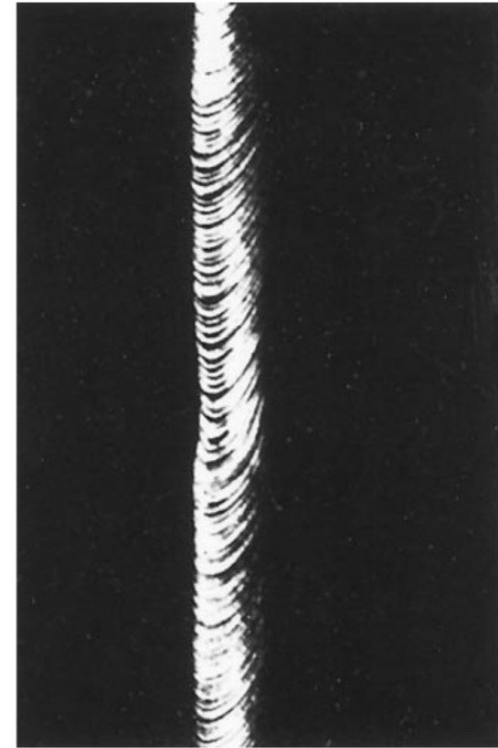
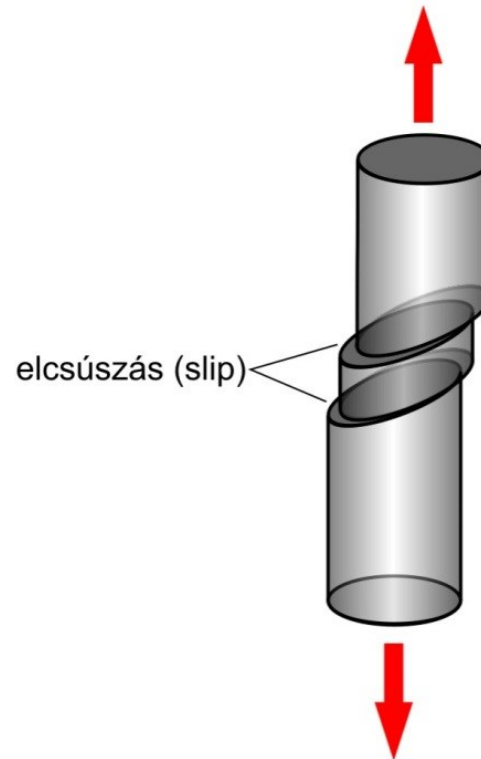
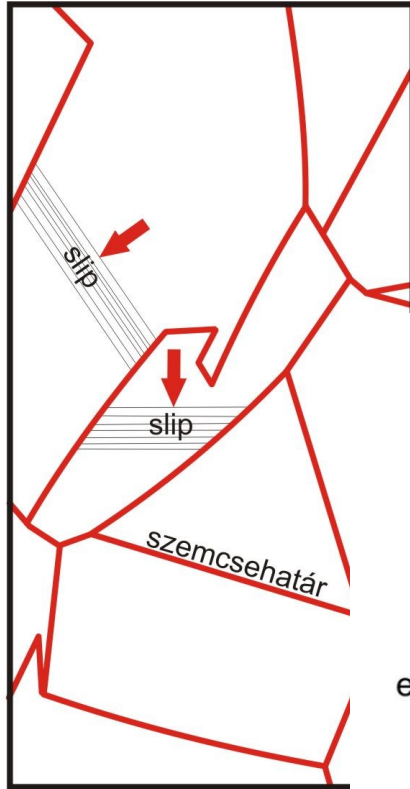


Moving a rug by moving a wrinkle in the rug

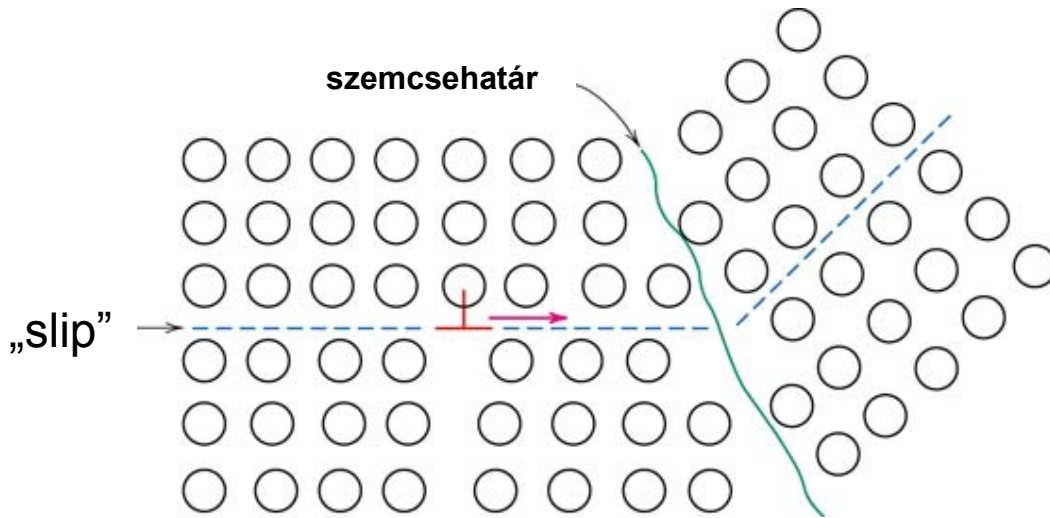
**Amorf anyagoknál:  
csak viszkózus folyás!**



## Diszlokációk mozgási szabadsága?!

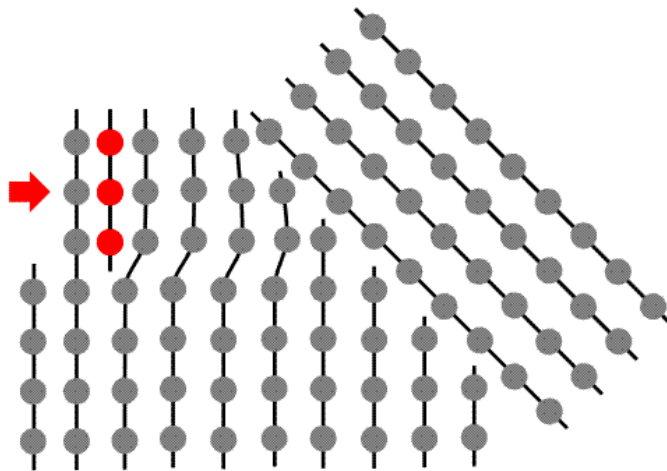


## Diszlokációk mozgási szabadsága?!



**A plasztikus tartomány  
mennyiségei**

**$(\sigma_f, \varepsilon_{sz}, \sigma_{sz}, w_{sz})$ ,  
valamint a keménység  
nagyon érzékenyek a  
hibákra.**

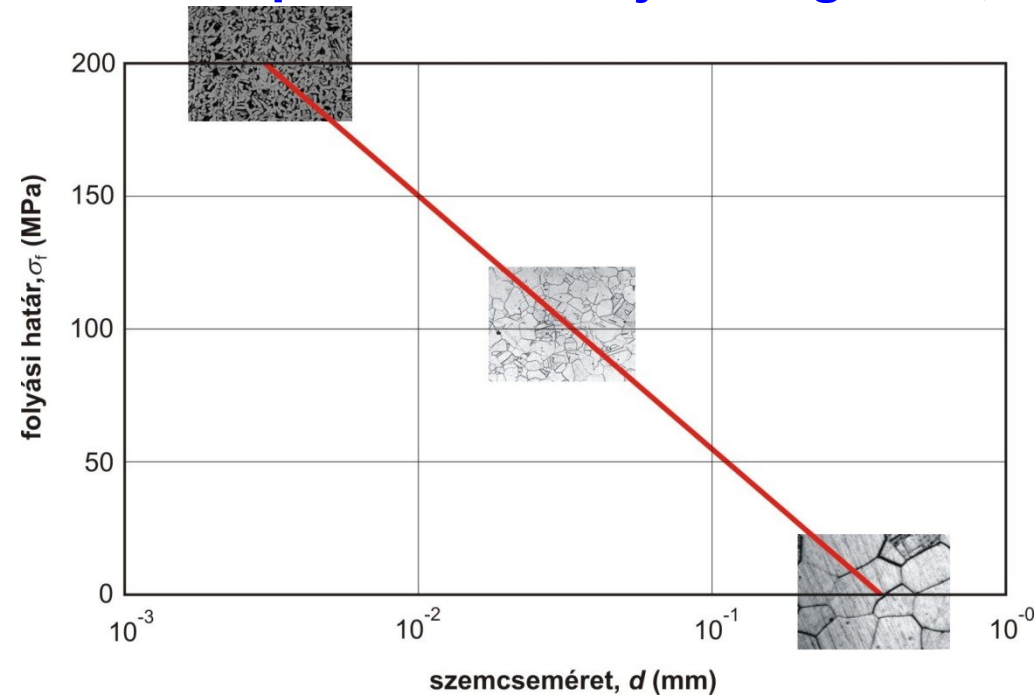


**Hasonló okok miatt:  
Kerámiák törékenysége**

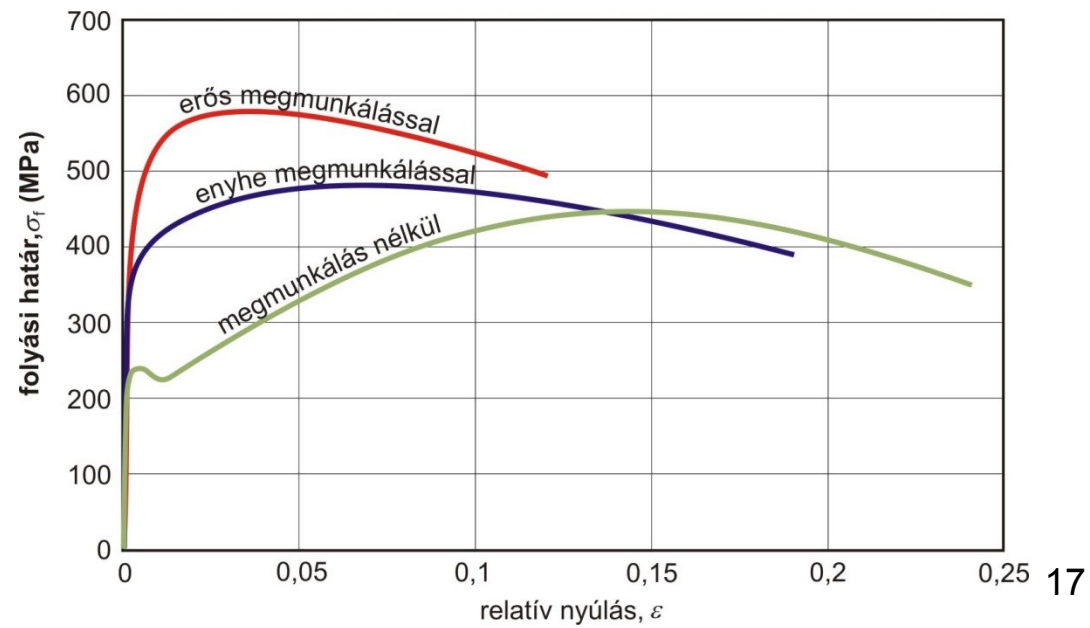


# Fémek plasztikus tulajdonságainak, szilárdságának alakítása

szemcseméret ( $d$ ) csökkentés

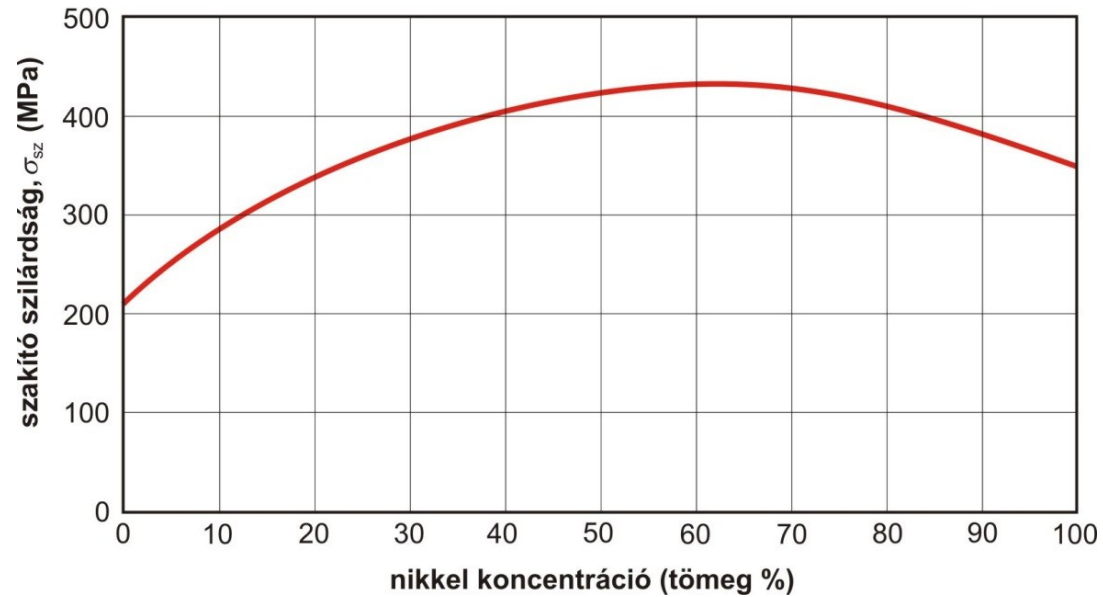


hideg megmunkálás

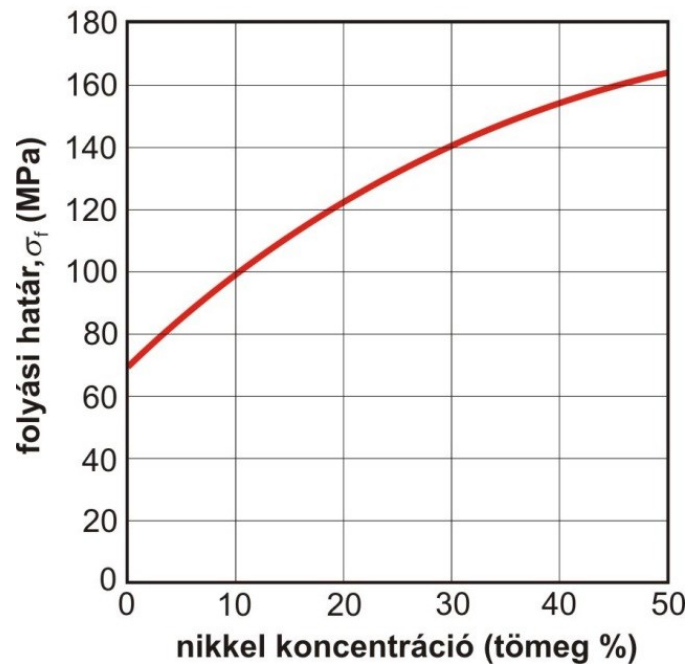


# Ötvözés

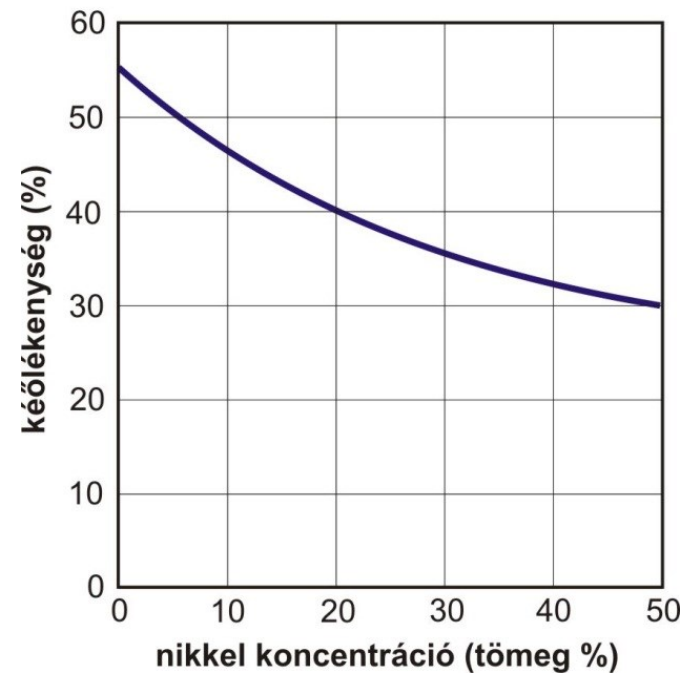
RÉZ - NIKKEL ÖTVÖZET



RÉZ - NIKKEL ÖTVÖZET

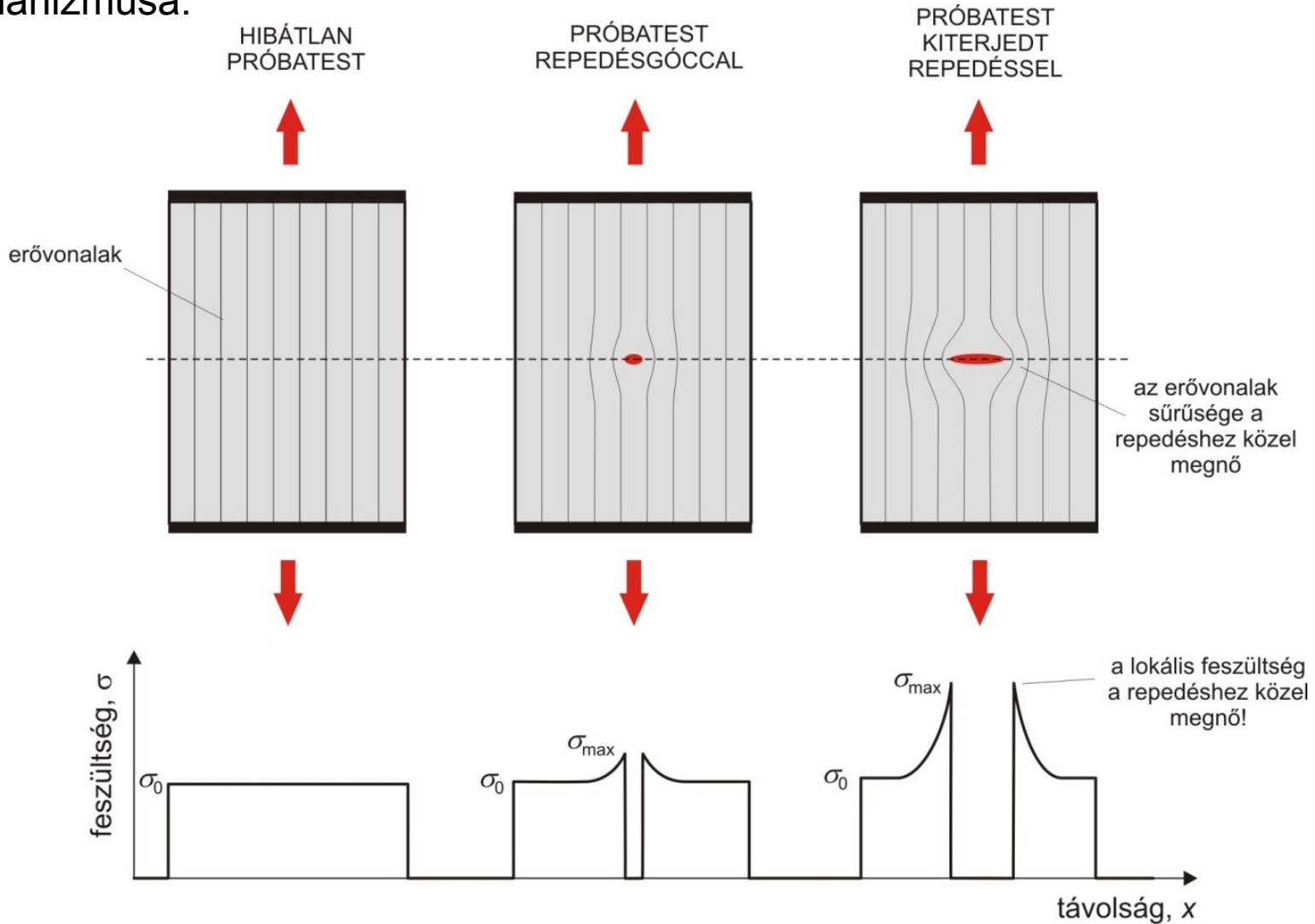


RÉZ - NIKKEL ÖTVÖZET



# Törés

Mechanizmusa:

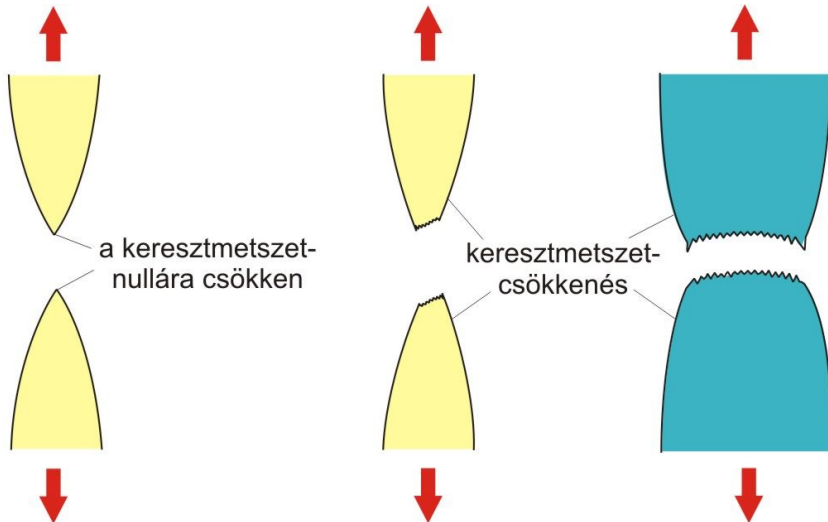


**→ feszültség növelés**

- törékeny anyag: nincs képlékeny alakváltozás **rideg törés**
- képlékeny alakváltozás **képlékeny törés**

# Törésfajták

képlékeny (szívós)

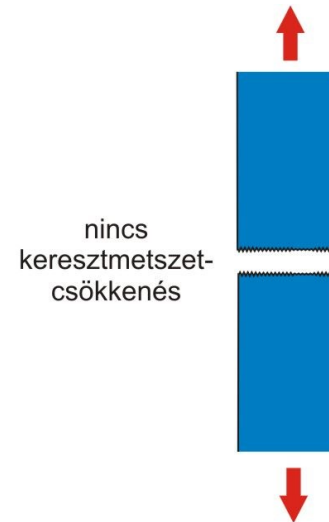


teljesen  
képlékeny anyag  
törése

képlékeny (szívós) anyag  
törési felülete



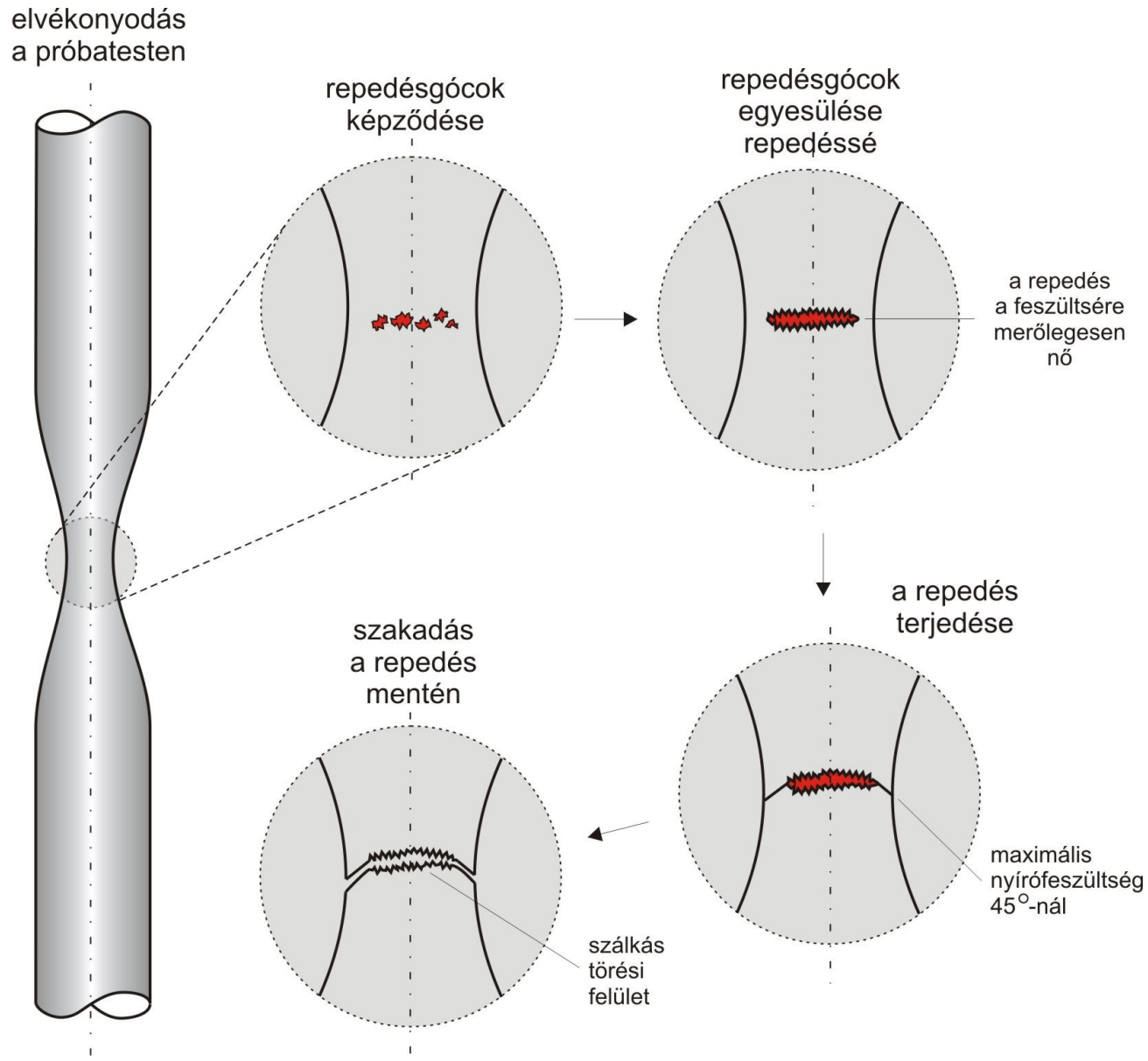
rideg



rideg anyag  
törési felülete



# Képlékeny anyag törési fázisai



# Fáradás, fáradásos törés



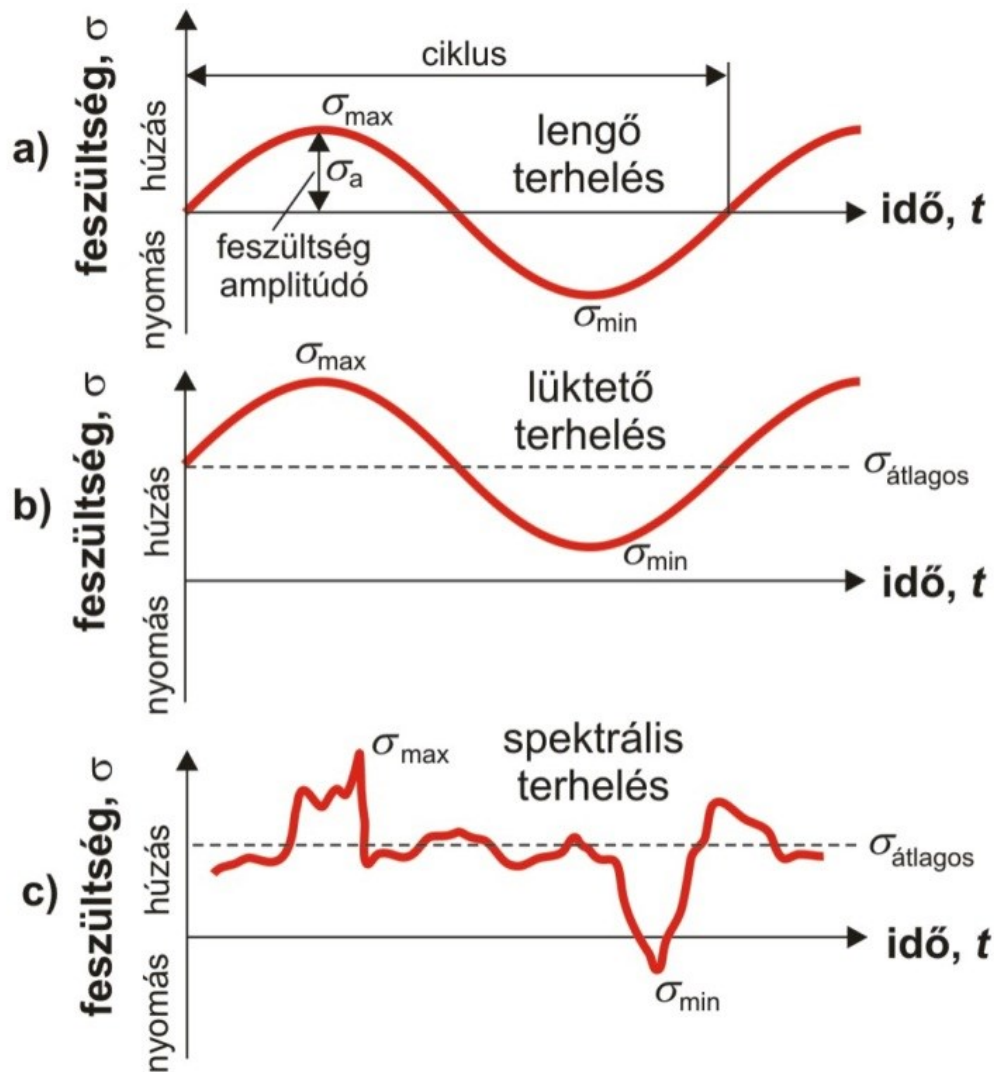
Hosszan tartó, ismétlődő terhelés

→ szerkezeti változások

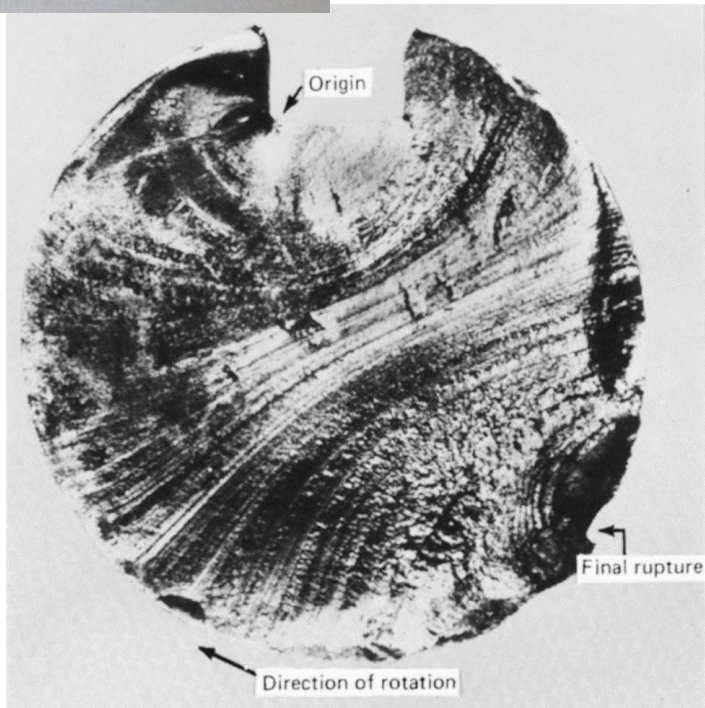
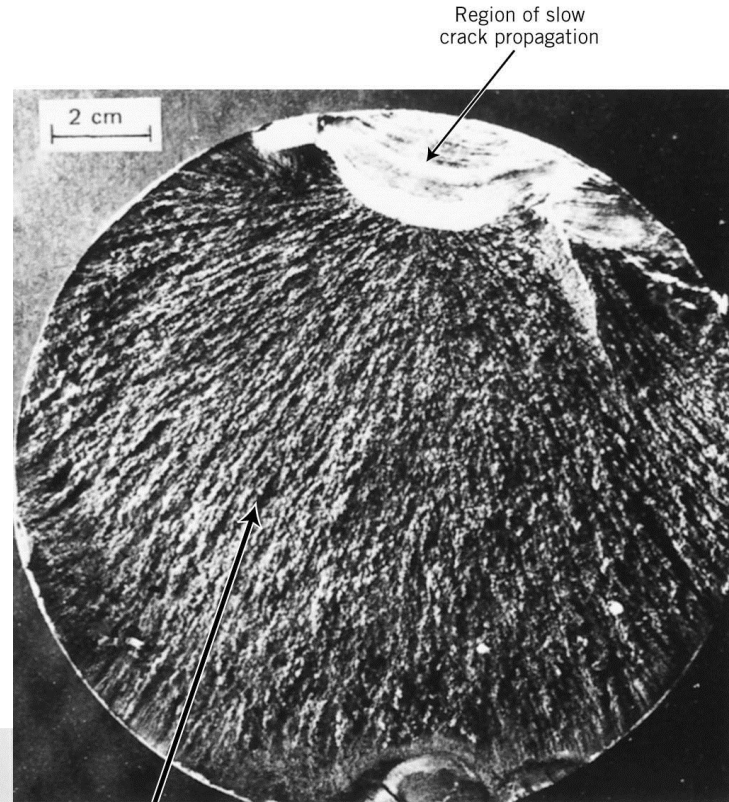
→ szilárdság csökken

**repedések!**

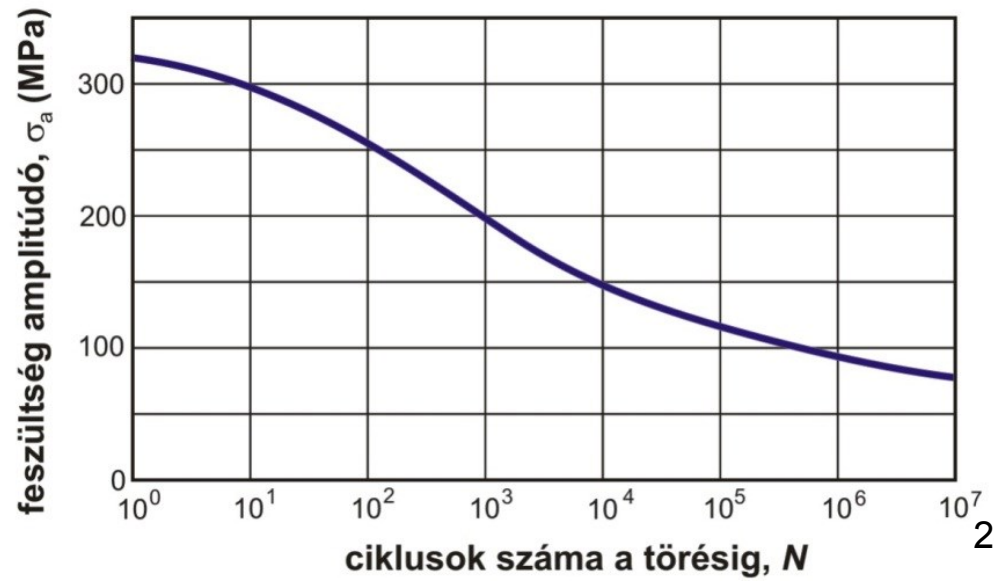
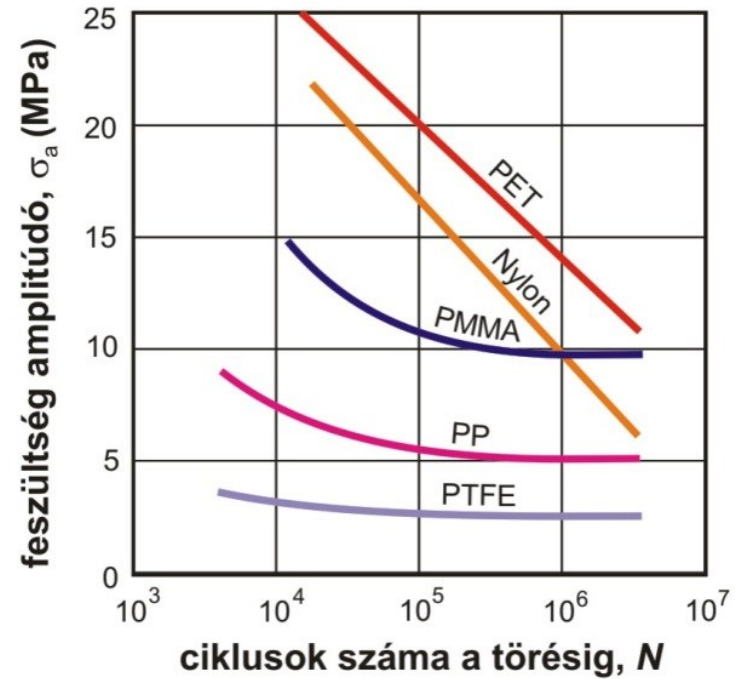
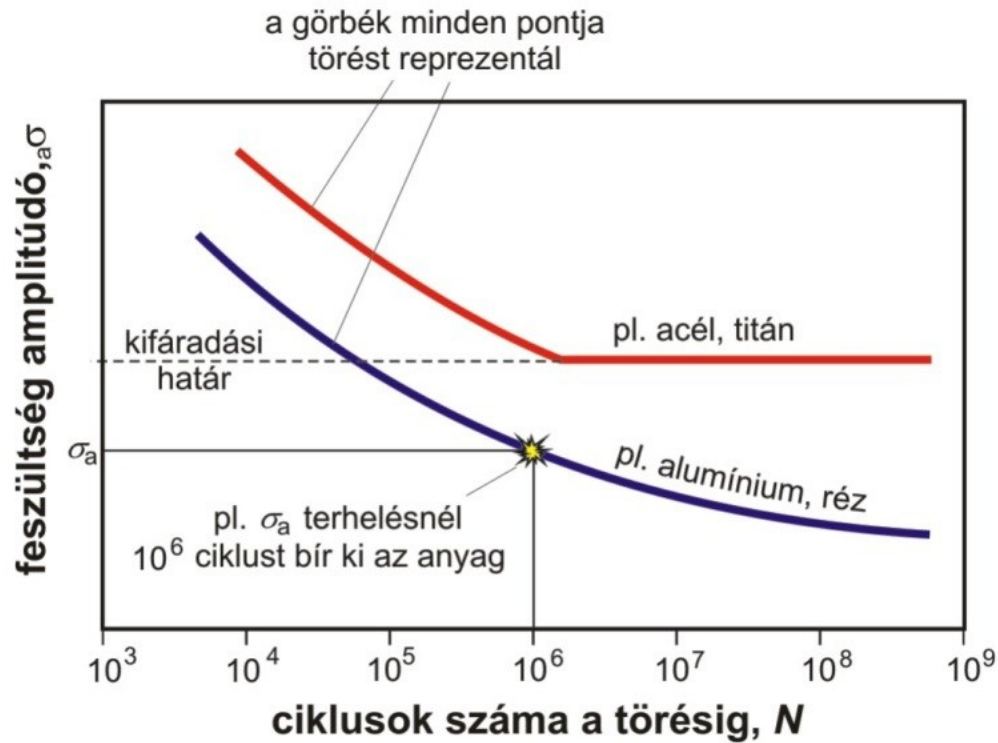
terhelési fajták:



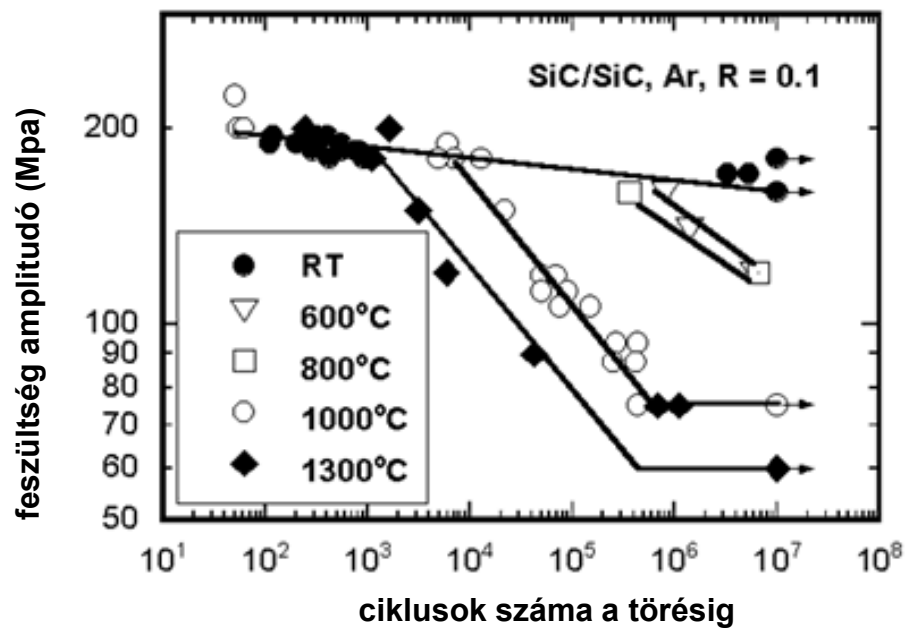
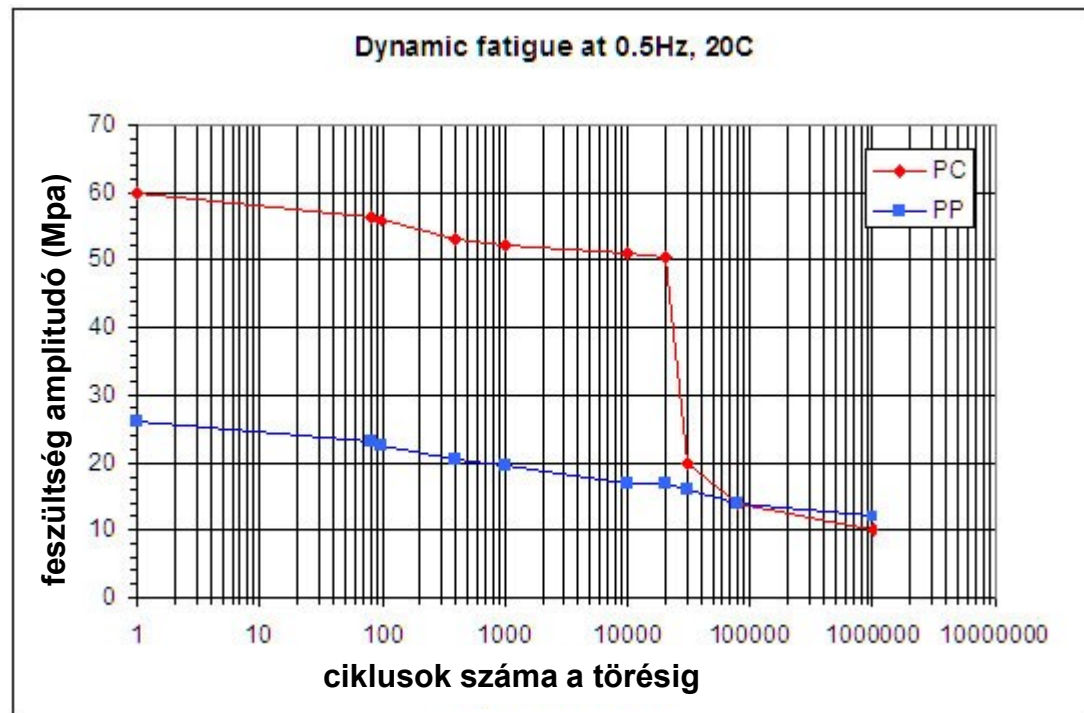




## Fáradási görbe:







Továbbá:

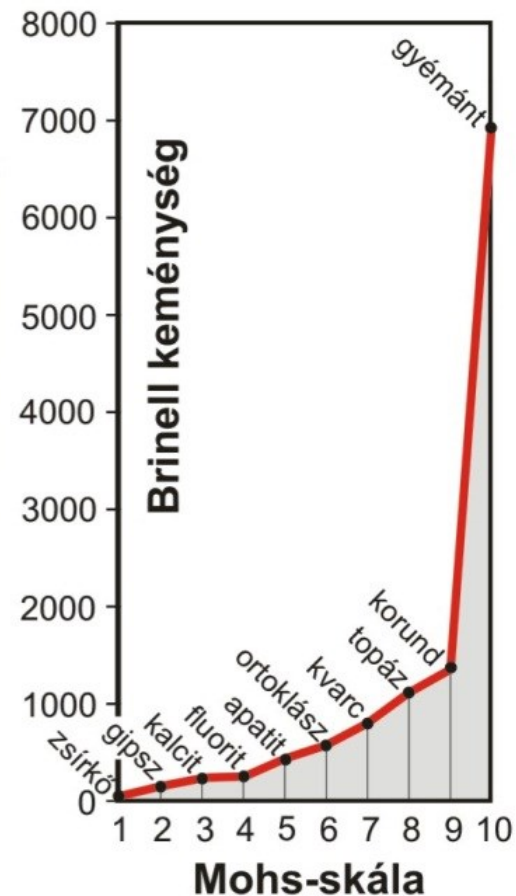
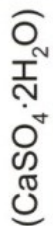
- termikus fáradás
- kémiai (korróziós) fáradás

# Keménység



## Mohs-skála:

zsírkő gipsz kalcit fluorit apatit ortoklász kvarc topáz korund gyémánt



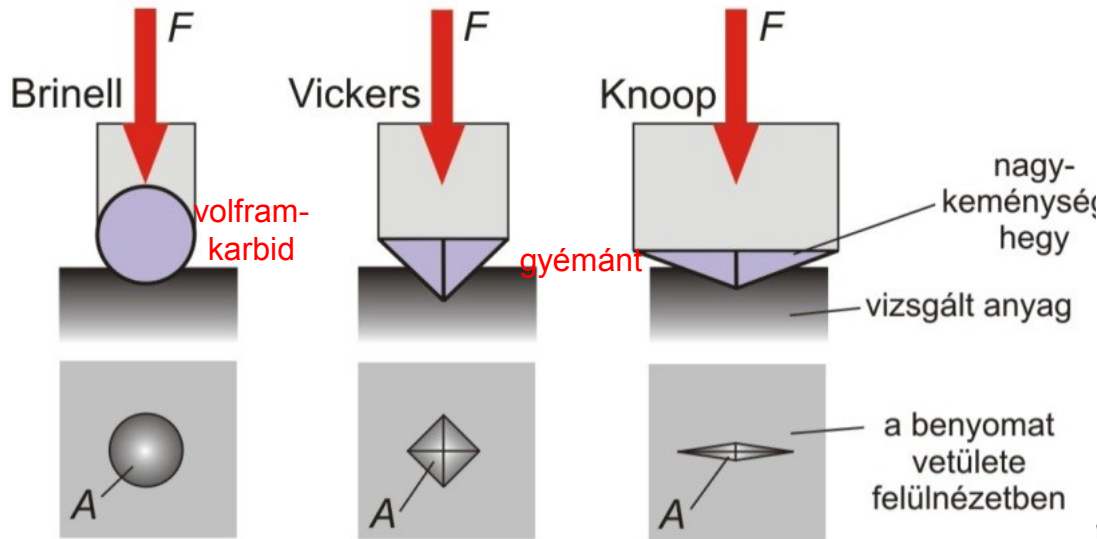
# Keménységmérési eljárások

mikrokeménység vizsgálati eljárások

**Brinell:**

**Vickers:**

**Knoop:**



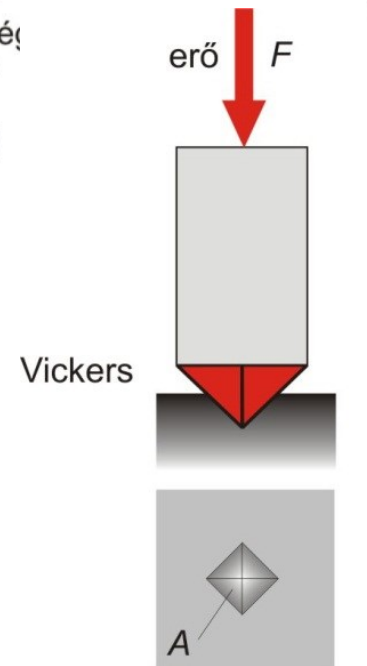
$A$  = a benyomat felszíne  
(nem azonos a vetület területével)

$$H = \frac{F}{A} \text{ (Pa)}$$

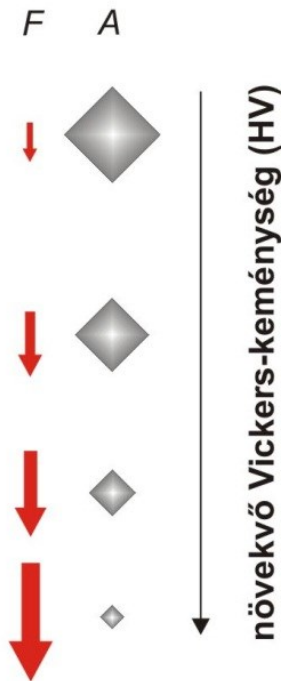
**HB**

**HV**

**HK**

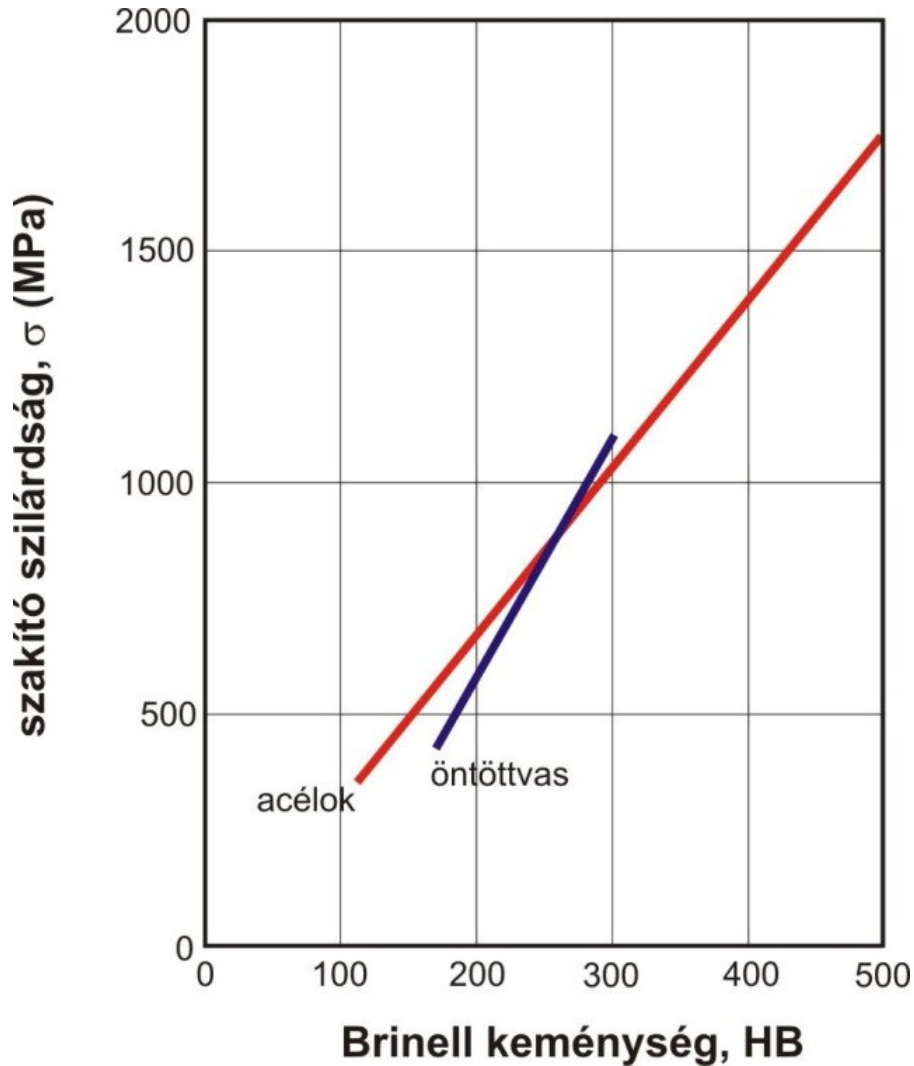


$A$  = a benyomat keresztmetszete



## Összefüggés más mennyiségekkel:

- rugalmassági határ
- szilárdság

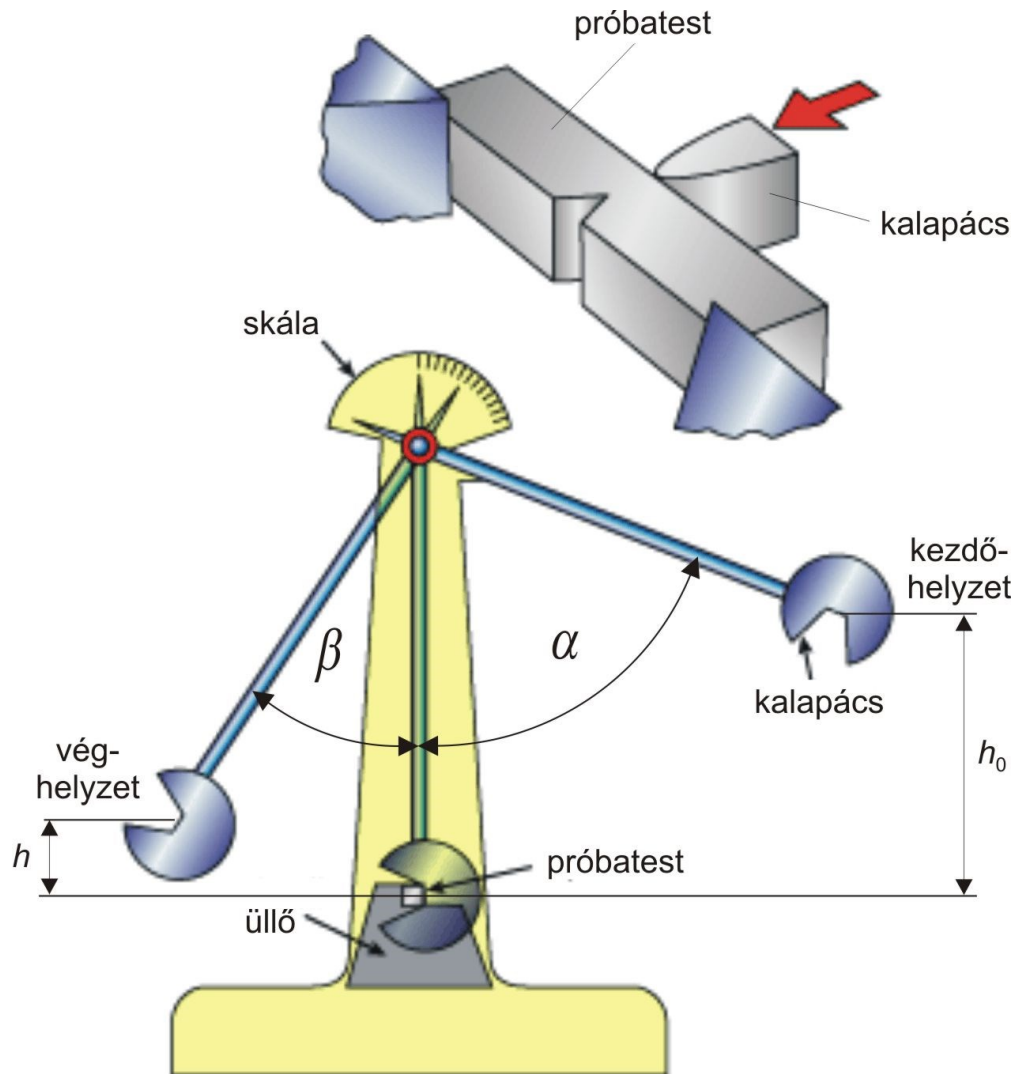


## Néhány fogászati anyag keménysége:

anyag	$HV$ (MPa)	$HK$ (MPa)
fogzománc	$\approx 3400$	3400-4000
dentin	$\approx 600$	$\approx 700$
amalgám	$\approx 1000$	
arany		60-70
arany ötvözetek	600-250	$\approx 2000$
Pd-Ag ötvözetek	1400-1900	
Co-Cr ötvözetek	$\approx 4000$	3000-4500
Ni-Cr ötvözetek	3000-4000	2000-3500
üveg		$\approx 5000$
porcelán	4500-7000	$\approx 6000$
akrilát	$\approx 200$	$\approx 200$

# Ütővizsgálat

## Charpy teszt:



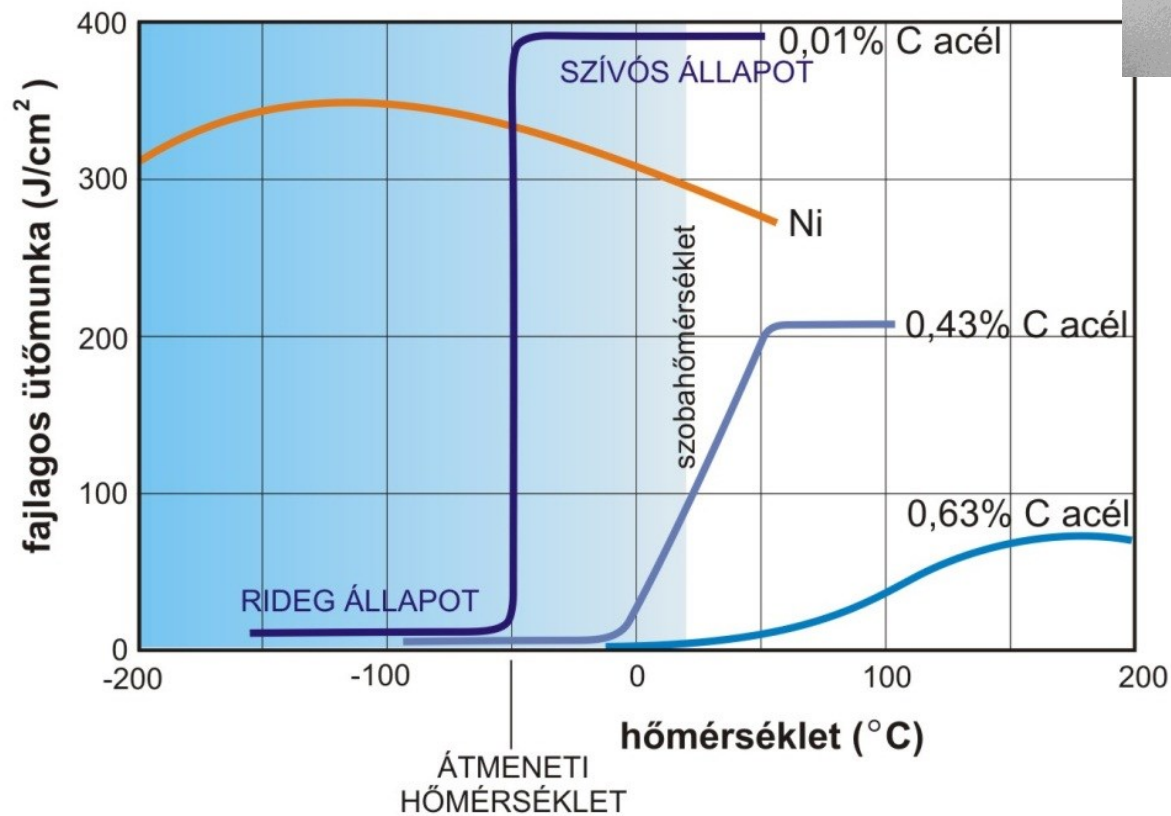
**Ütőmunka** = a kalapács  
helyzeti energia vesztesége (J)

**Fajlagos ütőmunka** =  
ütőmunka/próbatest  
keresztmetszete (J/m<sup>2</sup>)  
(= **Ütőszívósság**)



# Hőmérséklet hatása:

## képlékeny törés — rideg törés átmenet



## Néhány angol elnevezés:

merevség	stiffness, rigidity
rugalmasság	elasticity, flexibility
fajl. elaszt. def. munka	resilience
szilárdság	strength
képlékenység	ductility
törékenység	brittleness
szívósság	toughness
fajlagos ütőmunka (ütőszívósság)	impact energy impact strength notch toughness
keménység	hardness

**Következő  
előadáshoz:  
18.  
tankönyvi  
fejezet**