



Anyagszerkezet és –vizsgálat

NGB_AJ021_1

A szerkezeti anyagok tulajdonságai és azok vizsgálata

Töréssel szembeni ellenállás vizsgálata

Dr. Hargitai Hajnalka

(Csizmazia Ferencné dr. előadásanyagai alapján)



A termék minősége függ:

- **gyártási jellemzőktől**
 - A felhasznált anyagtól
 - A tervezéstől, konstrukciótól
 - Az alkalmazott technológiáktól.
- **üzemeltetés körülményeitől**
 - elhasználódási, károsodási folyamatok



Termékminőség és élettartam



Tehát anyagismereti sőt minőségügyi szempontból figyelembe kell venni:

- **az anyagok szerkezetét**
- **fizikai tulajdonságát (igénybevehetőség)**
- **technológiai tulajdonságait**
- **üzemeltetési tulajdonságait (károsodásállóság)**



Anyagtulajdonságok



Mechanikai tulajdonságok (terhelhetőség)



A szerkezeti anyagok viselkedése az igénybevételekkel szemben

- A szerkezeti anyagok legfontosabb tulajdonsága, hogy ellenállnak a külső igénybevételekkel szemben, tehát a **terhelhetők**.
- Az igénybevételek **összetettek és különbözőek**. A szilárdsági számítások során ezeket az összetett igénybevételeket jól definiálható alapesetekre un. **egyszerű igénybevételekre vezetjük vissza**, és ezek szuperpozíciójaként értelmezzük a szerkezet terhelését.



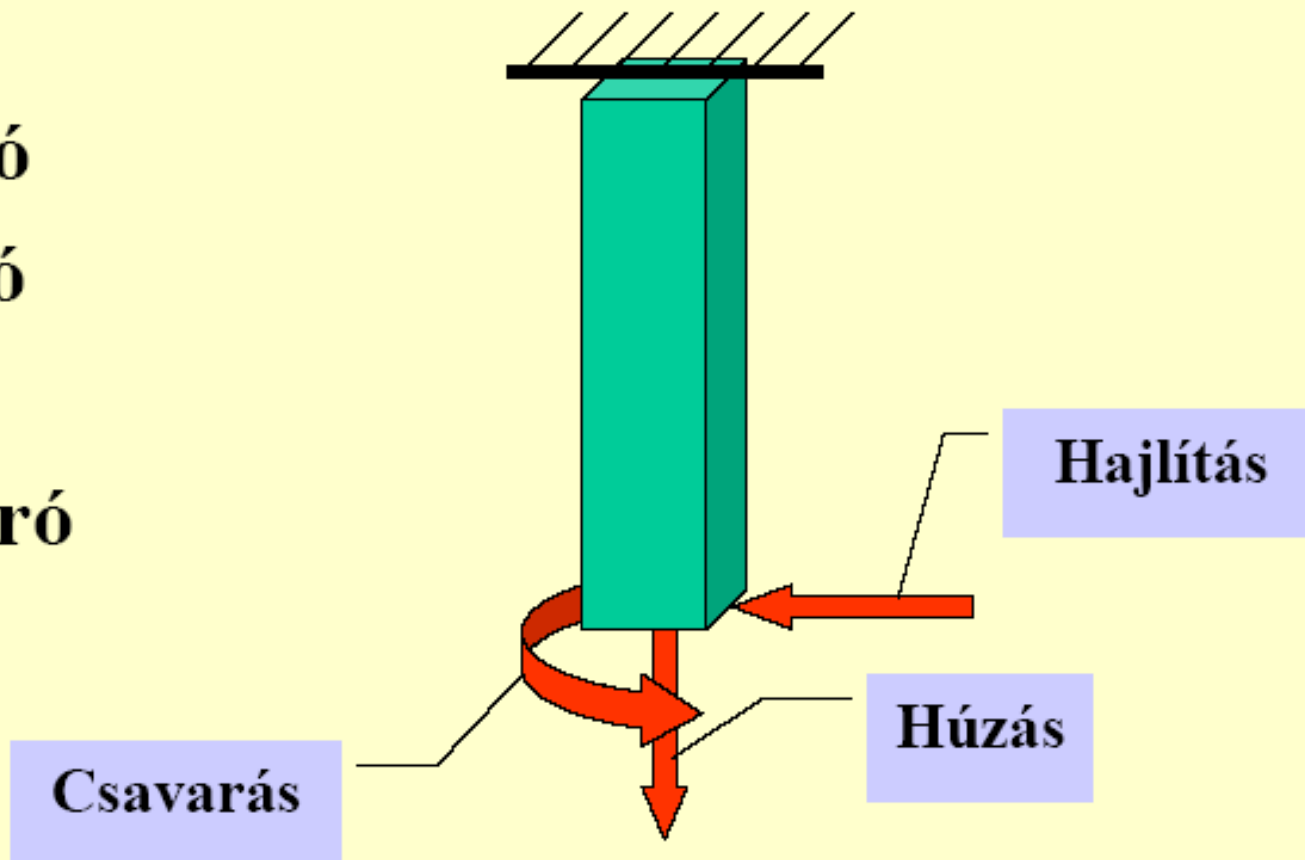
Az igénybevételek jellemzése (1)



- **Az igénybevétel hatása szerinti felosztás:**
 - Teljes anyagterfogra ható igénybevételek
 - A felületre ható igénybevételek
- **Az igénybevétel időbeli lefolyása szerinti felosztás:**
 - Statikus
 - Dinamikus, lökészerű
 - Ismétlődő, fárasztó
 - Az előbbi három kombinációja

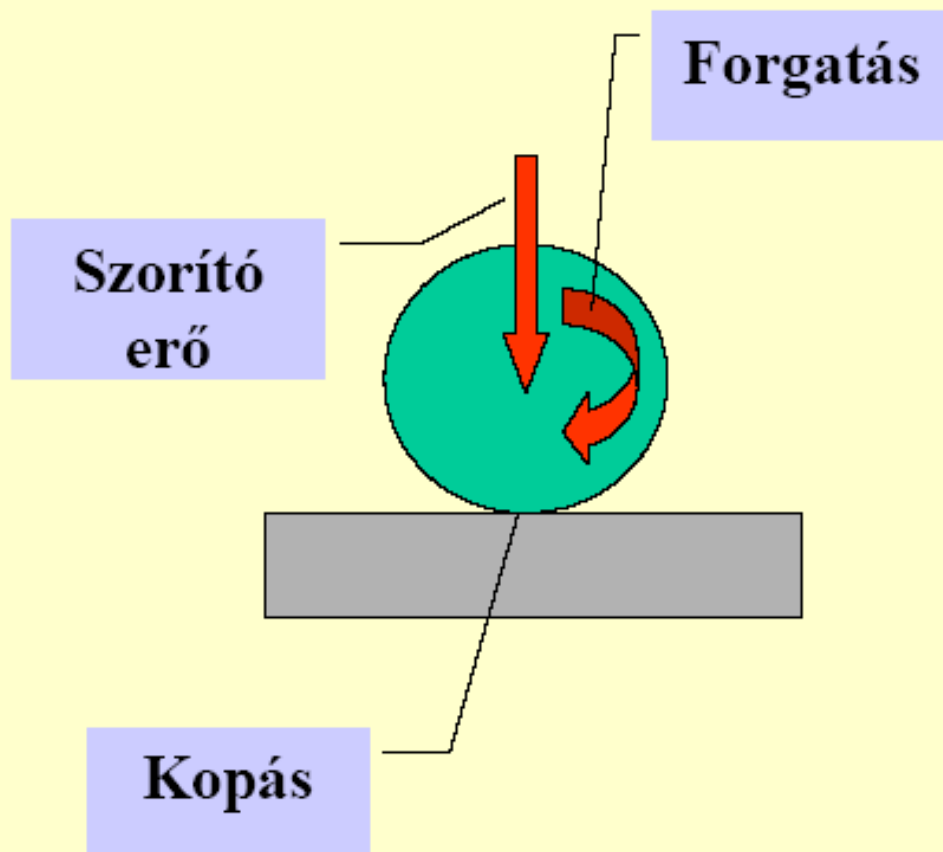
Teljes anyagterfogratra ható igénybevételek

- Húzó
- Nyomó
- Hajlító
- Nyíró
- Csavaró



A felületre ható igénybevételek

- Hő
- Vegyi
- Elektrokémiai
- Áramló közeg
- Koptató
- Sugárzás
- Biológiai





Az igénybevétel az időbeli változása alapján lehet:

- ⇒ **statikus**, ha az igénybevétel időben állandó, vagy csak igen lassan, egyenletesen változik,
- ⇒ **dinamikus** , ha a terhelés időben változik, hirtelen, ütésszerű, lökésszerű pl. motorok indítása, ütközés stb.
- ⇒ **fárasztó**, ha az igénybevétel időben változik, és sokszor ismétlődik.



Mechanikai tulajdonságok

Statikus igénybevétel



Szakítóvizsgálat

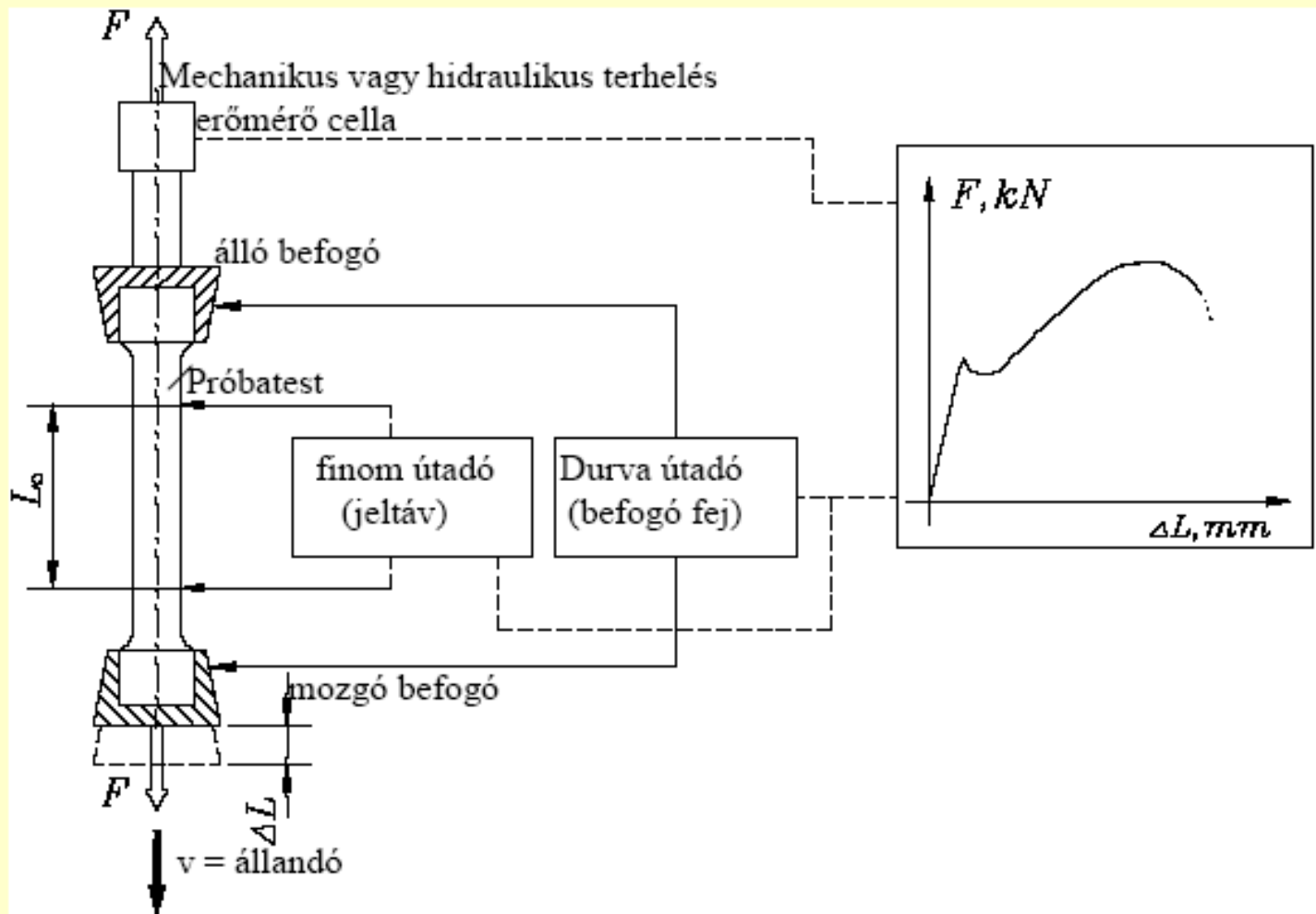
ISO 6892-1:2009

Húzó igénybevétellel szembeni ellenállás
meghatározása



Szakítóvizsgálattal meghatározható jellemzők 1

Elve:





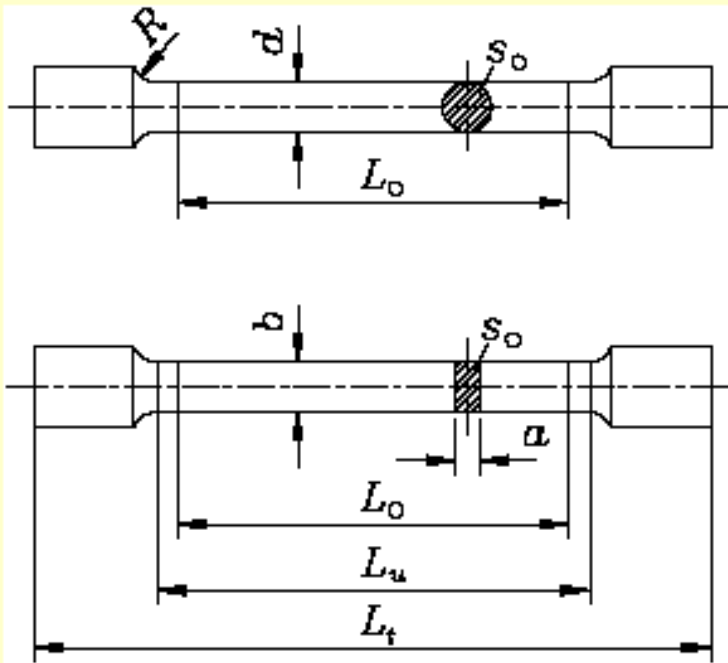


Szakító próbatest

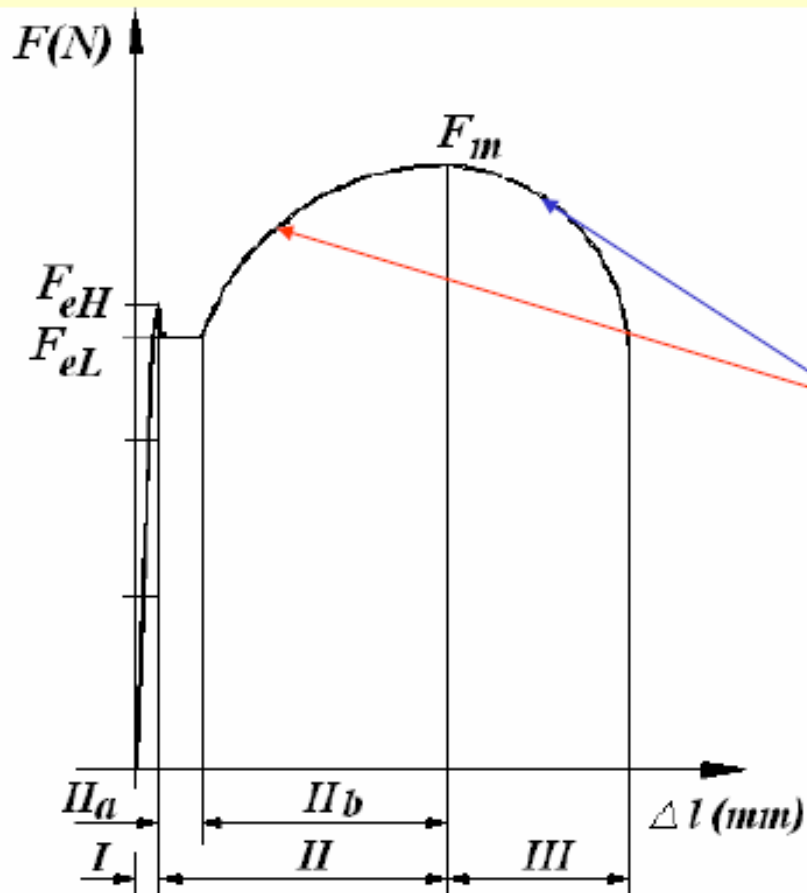
arányos próbatest
esetén a **jeltávolság**
kör keresztmetszet esetén

$$L_0 = 5 \cdot d_0$$

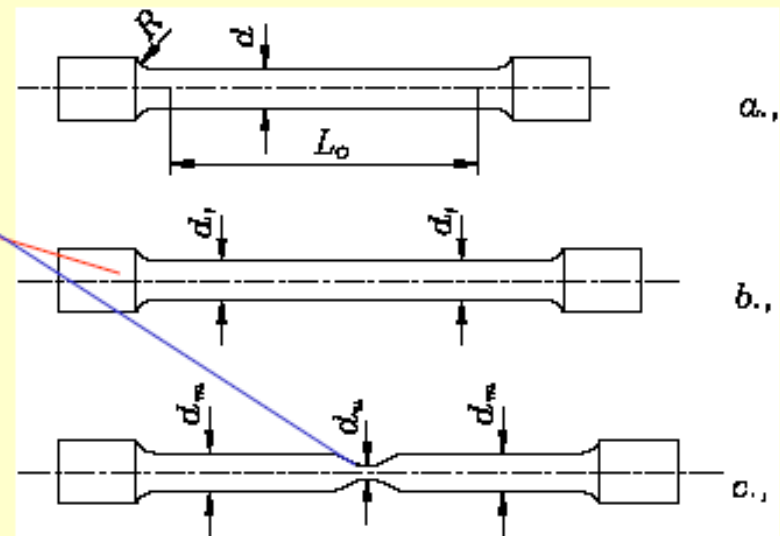
$$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$$



Lágyacél szakítódiagramja



C tart $< 0,2\%$

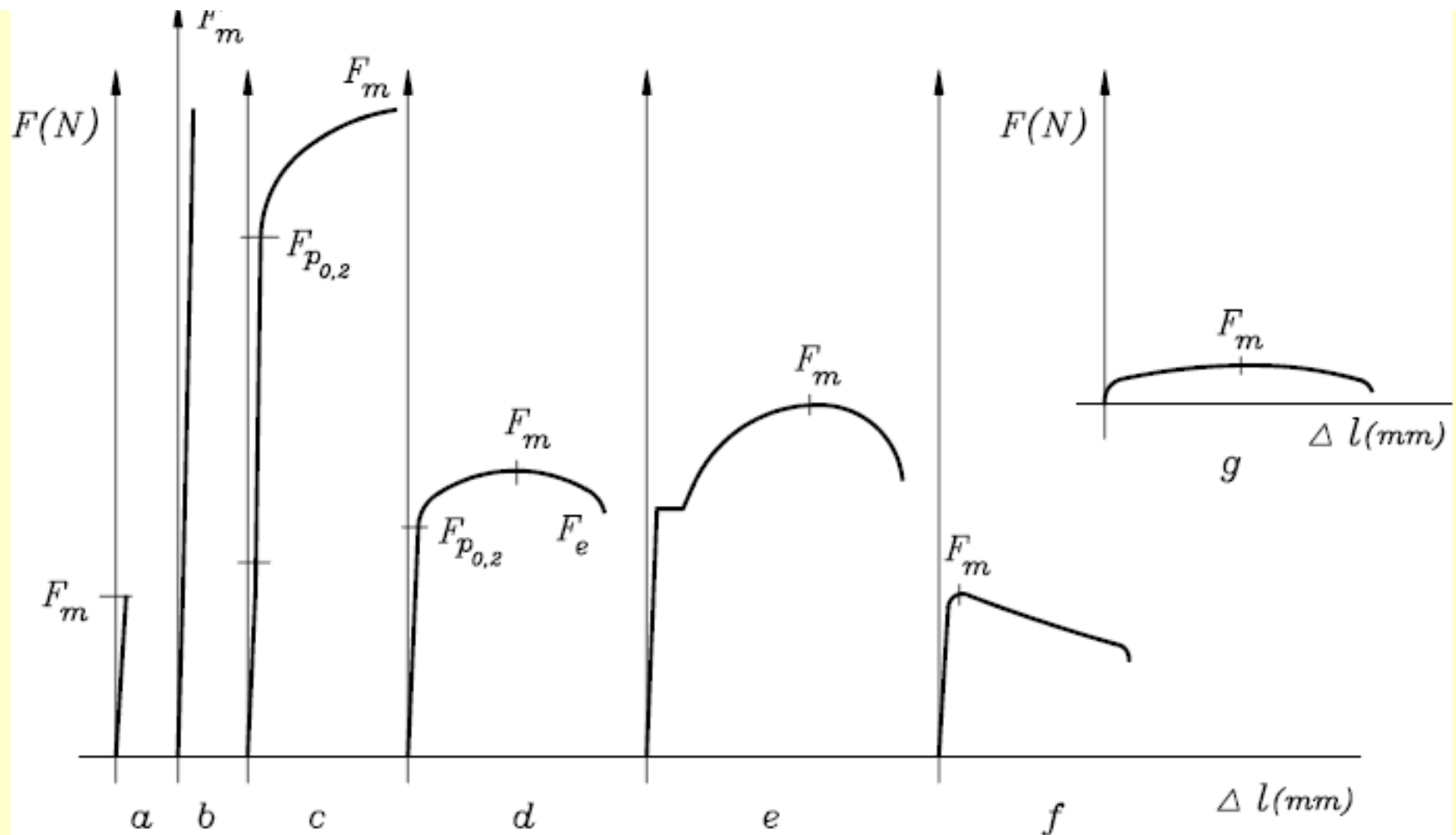


Hengeres lágyacél szakítása





Különböző anyagok szakítódiagramjai





Szabványos mérőszámok

MSZ EN 10002-1:2001

ISO 6892-1:2009

- Folyáshatár

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_o}$$

- Szakítószilárdság

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}$$

- Nyúlás

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} 100$$

- Kontrakció

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} 100$$



A szakítóvizsgálat során kapott eredményeket befolyásolják



- ⇒ a próbatest alakja, mérete, felületi minősége
- ⇒ a terhelés növelésének sebessége
- ⇒ a vizsgálati körülmények pl. a hőmérséklet

Keménység

Az anyagok egyik legfontosabb tulajdonsága a keménységük. A fémek és ötvözetek keménységmérése nagyon elterjedt.

A keménység alatt a fémnek azt az ellenállását értjük, amelyet a fém egy nála keményebb test behatolásával szemben kifejt.

Miért olyan elterjedt a keménységmérés?

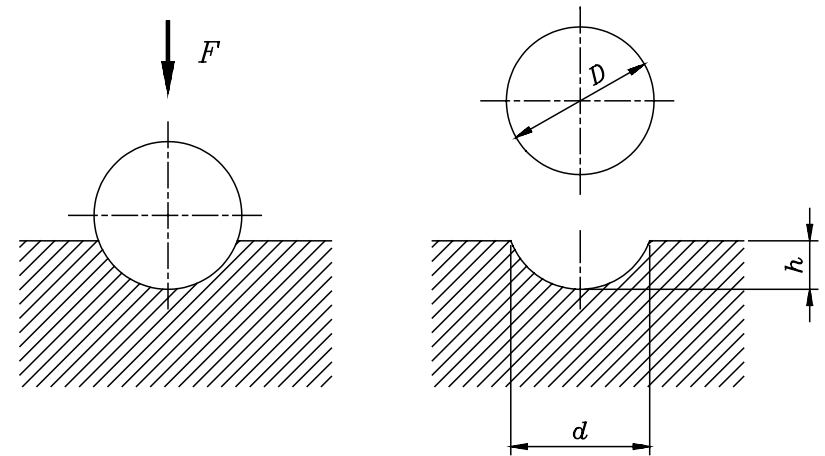
- ☞ a mérés gyors, egyszerű
- ☞ a darabon " roncsolásmentesen " elvégezhető
- ☞ az eredményekből kísérletileg meghatározott összefüggések alapján egyéb anyagjellemzőkre is következtethetünk
- ☞ a technológiai folyamatba beilleszthető

A Brinell keménység értelmezése

- Brinell keménységen az F terhelő erő és a lenyomat felületének hányadosát értjük.
- **Jele: HB.**

A gömbsüveg felülete $D\pi h$.
Ezzel a keménység számértéke:

- A keménység mértékegység nélküli szám!



$$HB = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h}$$

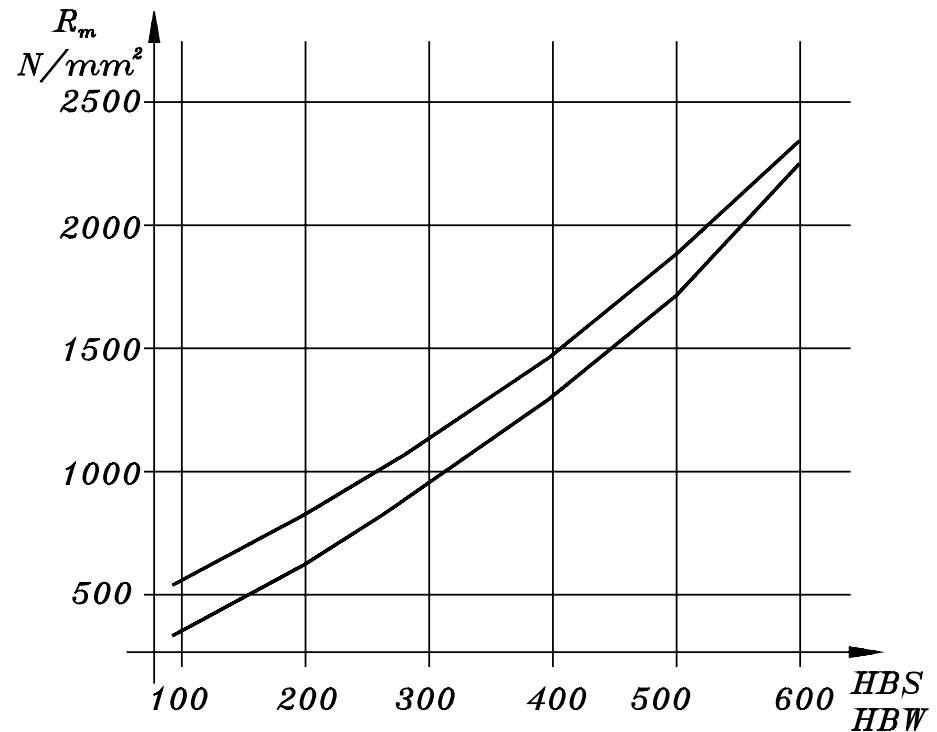
$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{D\pi \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Alkalmazási területe, korlátok

- Elsősorban öntöttvasak, könnyű-és színesfémek, kisebb keménységű, lágyított normalizált acélok mérésére használják
- A Brinell keménységmérés acél golyó esetén 450 HB-nél keményfém esetén 650 HB-nél keményebb anyagok mérésére nem alkalmas, mert a golyó esetleges deformációja a mérést meghamisítja.
- Nem alkalmas vékony lemezek mérésére, (túl nagy a benyomódás)

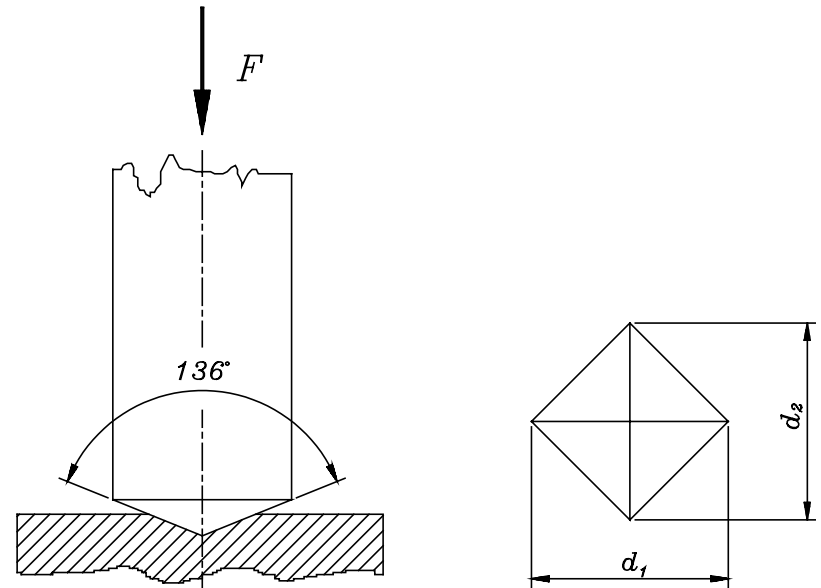
Összefüggés a HB és az R_m között

- Az összefüggés **közelítő**, célszerű a vasalapú ötvözetek keménységi értékek összehasonlítására szolgáló szabvány használata! (MSZ 15191-2)



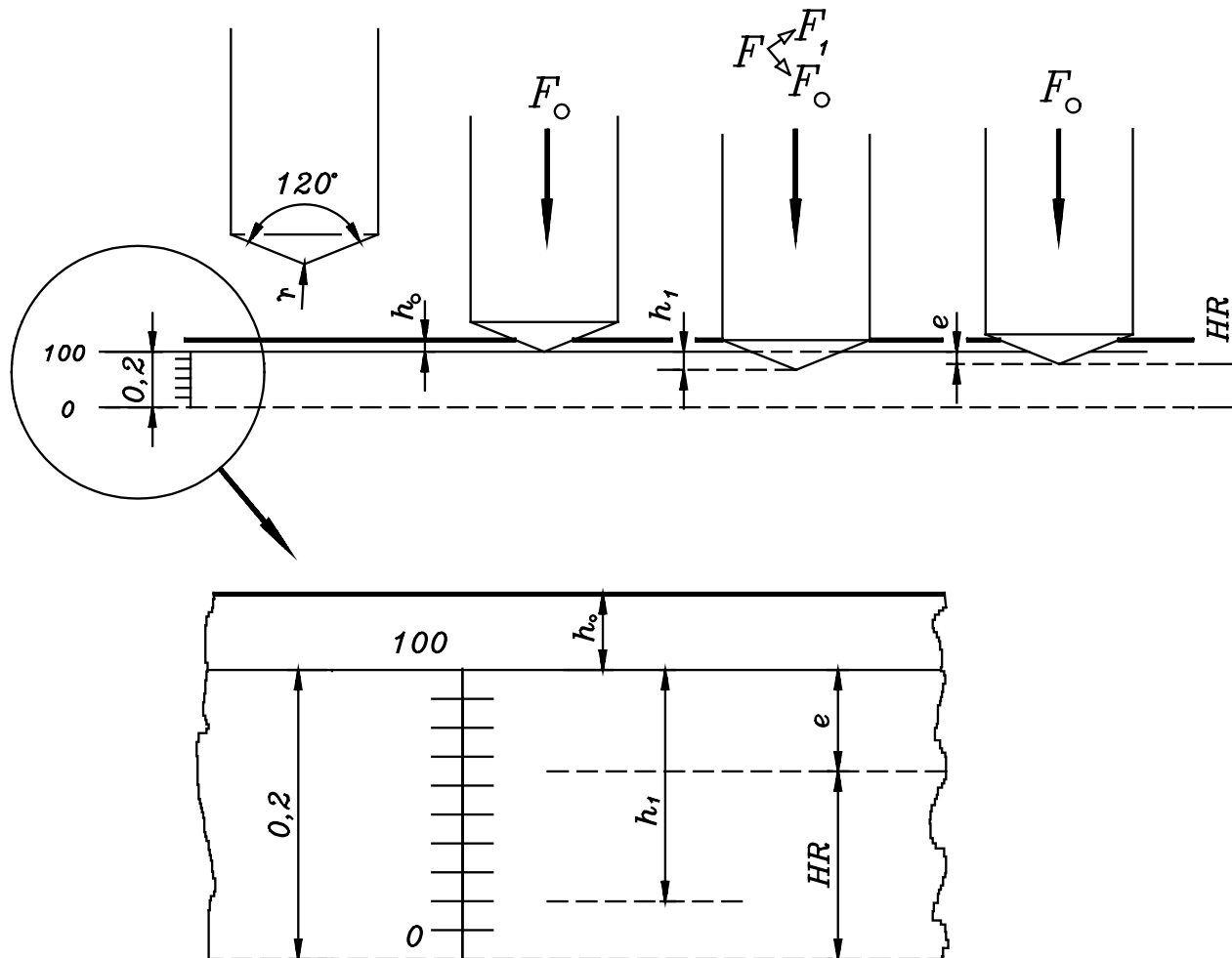
Vickers keménység mérőszáma

- A Vickers keménység a Brinellhez hasonlóan a terhelő erő és a lenyomat felületének hányadosa. A lenyomat felületének meghatározásához a terhelés megszűntetése után a négyzet alakú lenyomat átlóit (d) mérjük.



$$HV = 0,102 \cdot 1,854 \cdot \frac{F}{d^2}$$

A Rockwell keménységmérés elve



Rockwell keménységmérési eljárások

- HRA
- HRB,
- HRC

A benyomó szerszám 1,59 mm (1/16 ") átmérőjű edzett acél golyó (HRB) vagy 120 ° csúcsszögű gyémánt kúp (HRA és HRC).

A töréssel szembeni ellenállás vizsgálata

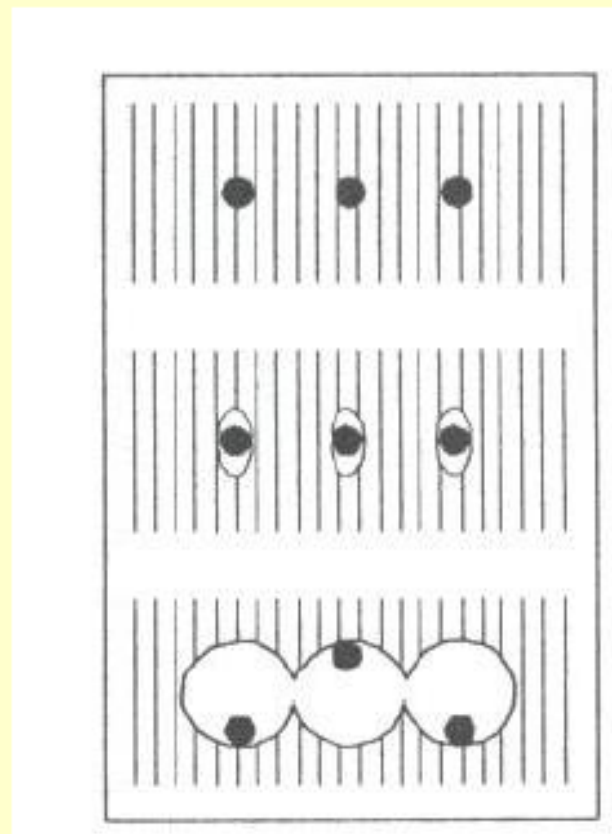
Az anyag viselkedése terhelés hatására

Az anyagok lehetnek:

- **szívósak,**
- **képlékenyek és**
- **ridegek.**

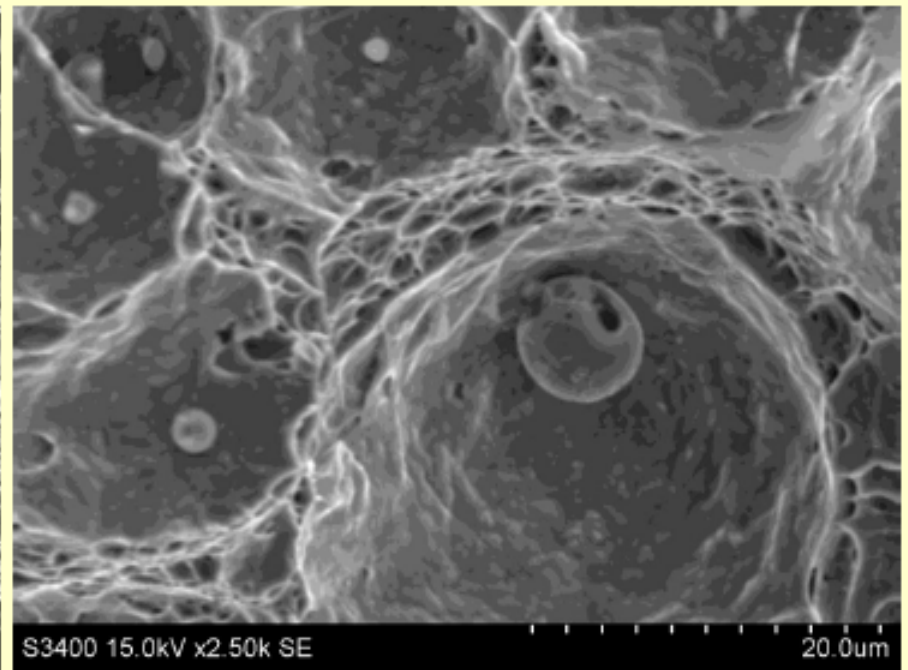
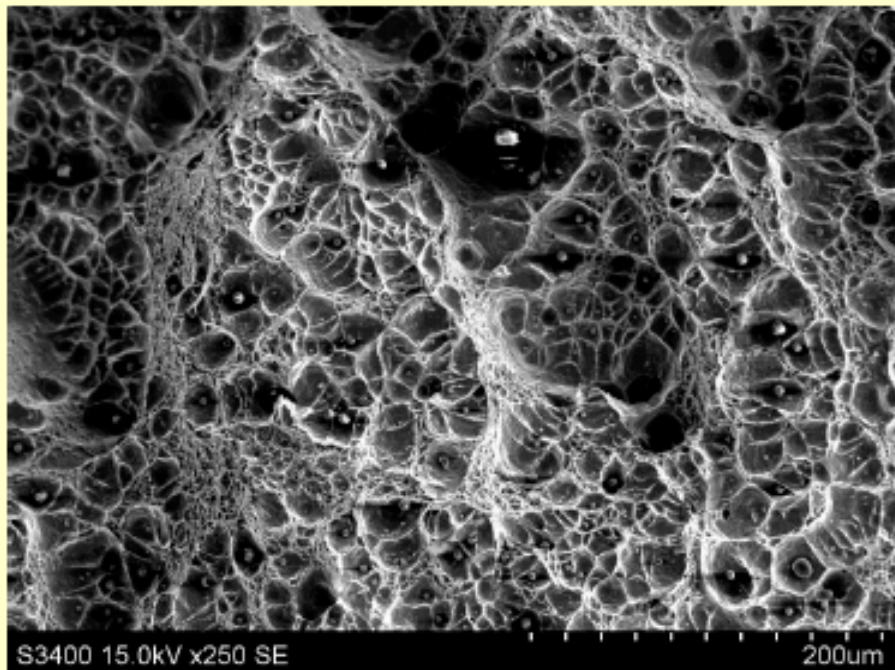
Szívós vagy képlékeny anyag

- Az anyag törését a **csúsztatófeszültségek hatására bekövetkező elnyíródás okozza.** A technikai tisztaságú szerkezeti anyagokban a zárványok, kiválások mentén üregek keletkeznek, amelyek fokozatosan nagyobbodnak. A több tengelyű feszültségi állapot hatására az üregek közötti ép anyagrészek (un. hidak) a helyi kontrakció következtében sorra elszakadnak (transzkrisztallin üregegyesülés). Ennek eredménye a gödrös, **méhsejtszerű szerkezetű töret.**



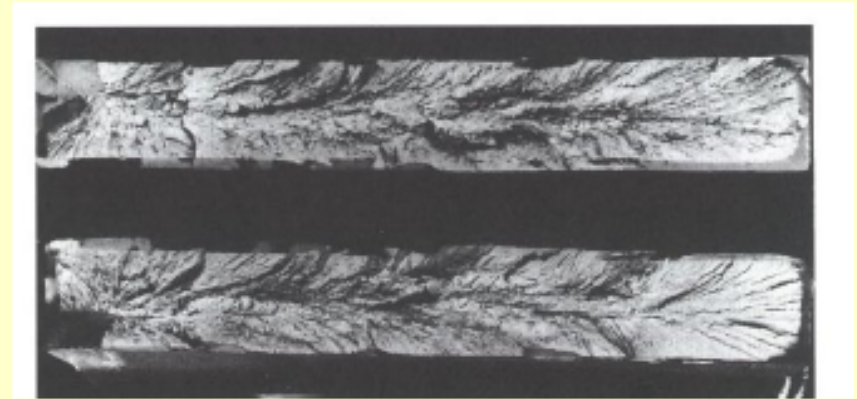
Szívós vagy képlékeny anyag

a törést **jelentős nagyságú maradó alakváltozás előzi** meg, ami sok energiát emészt fel. A töretfelület szakadozott, tompa fényű

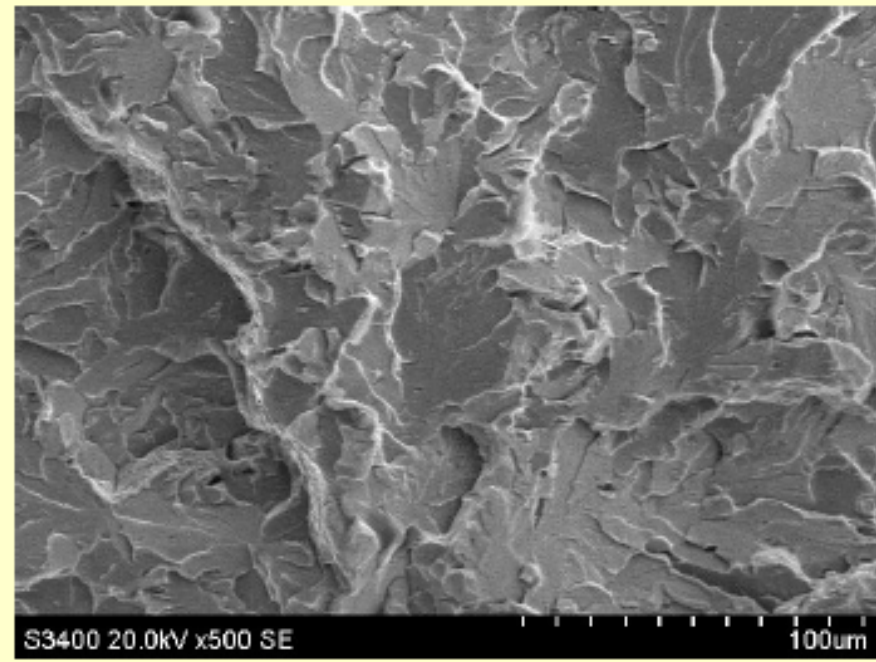
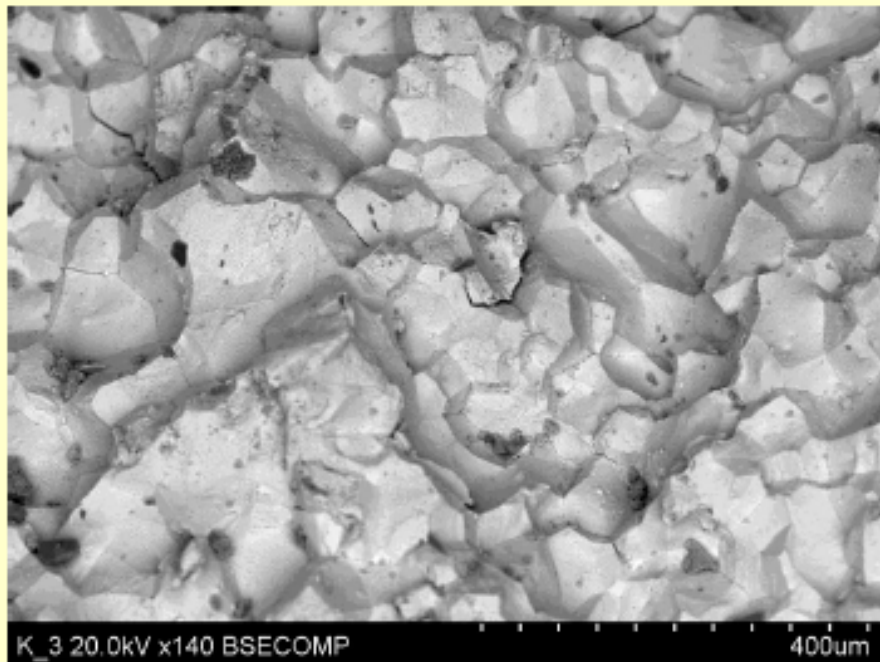


Rideg, nem képlékeny törés

A rideg, nem képlékeny törés esetében a törést nagyon kicsi vagy semmi maradó alakváltozás sem előzi meg, és viszonylag kevés energiát kell befektetni az anyag eltöréséhez.



Gázmotor szelep törete



Intergranuláris törés

Hasadásos törés

A törés folyamata

Az anyag törésének folyamata

- repedés keletkezéséből
- a repedés terjedéséből, majd
- az anyag végső szétválásából áll.

A repedésterjedés lehet

lassú, ilyen a kúszás és kifáradás, vagy a terhelés növelése mellett bekövetkező szívós törés illetve

gyors, instabil, ami alakváltozás nélküli rideg töréshez vezet

Mitől függ egy anyag töréssel szembeni viselkedése?

függ magától az **anyagtól**,

- annak **állapotától** (összetétel, mikroszerkezet),

de jelentős mértékben függ az un.

állapottényezőktől,

- a hőmérséklettől,
- a feszültségállapot jellegétől és
- az igénybevétel sebességétől

Az anyag és annak állapota

Rideg törésre rendkívül hajlamosak a

- **Kovalens vagy ionos kötés, alacsony kristály szimmetria.**
- **A kerámiák, rideg kompozitok, nagyszilárdságú acélok, pl. edzett szerszámacélok, hexagonális rácsszerkezetű fémek, mint pl. a magnézium. Bennük a legkisebb hiba is beindíthatja a rideg törést**

Az anyag és annak állapota

Szívós anyagok

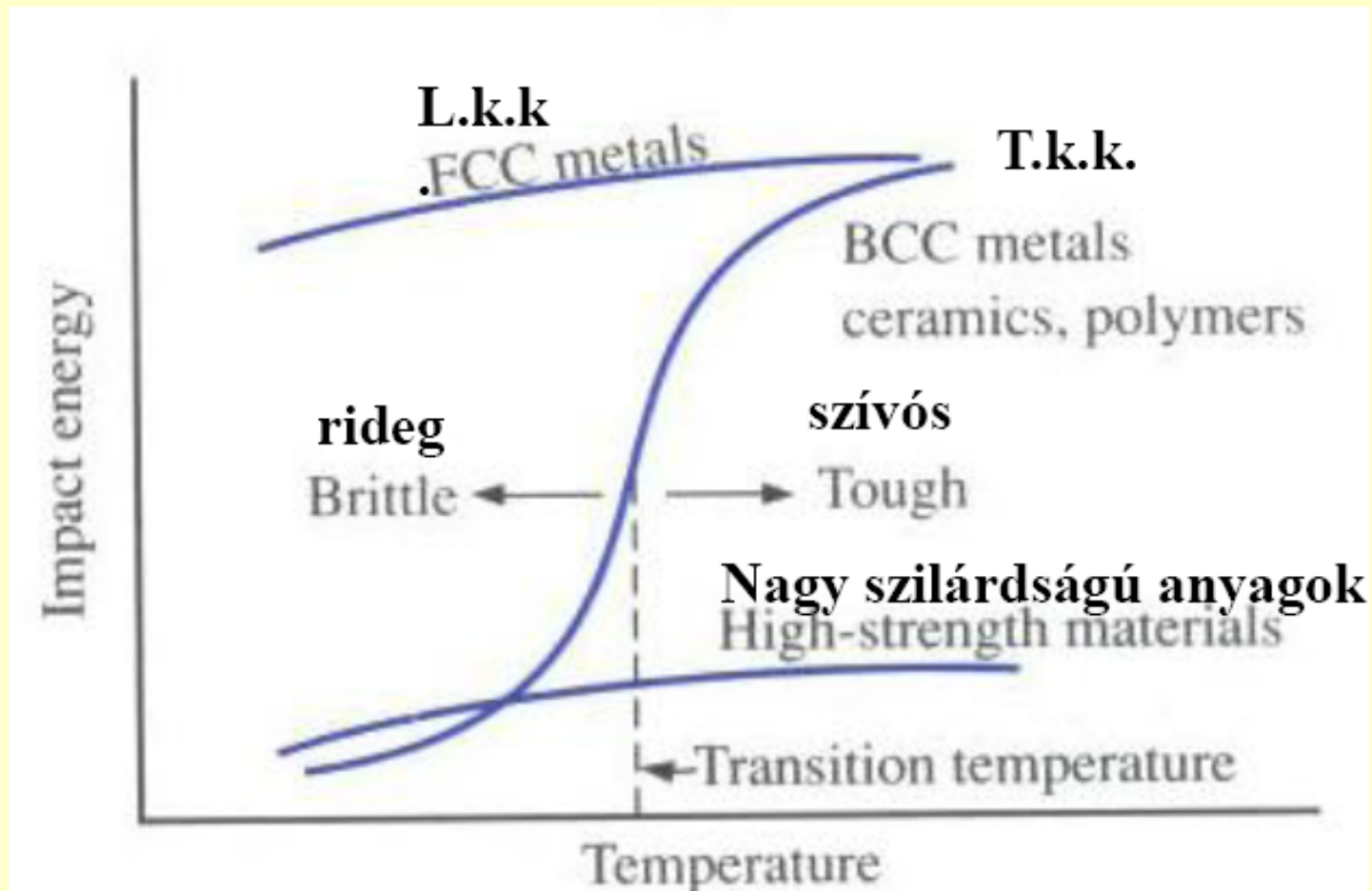
- **fémek lapközepes köbös szerkezettel**
- **pl. az alumínium vagy a réz**
- **a polimerek jelentős része alakváltozásra hajlamos, még nagy méretű hibák mellett is szívósan viselkednek.**

Az anyag és annak állapota

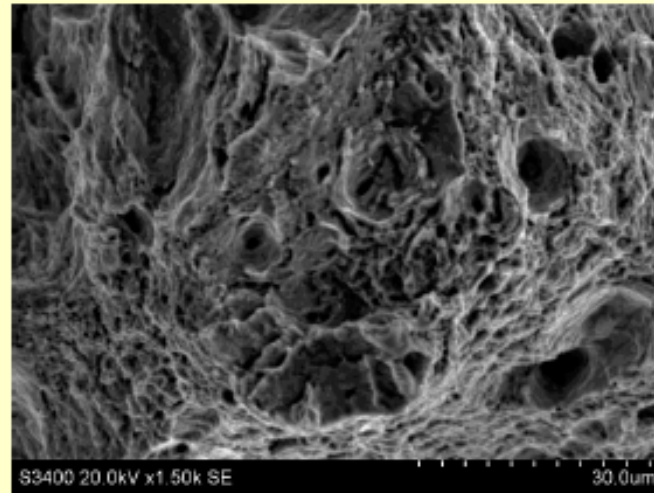
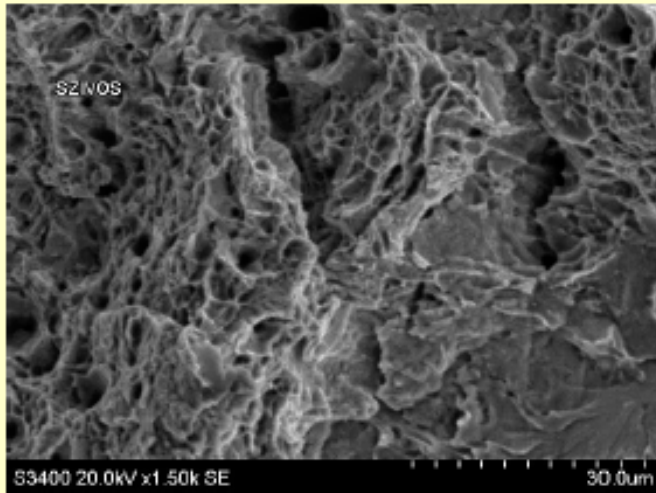
- **Az olyan anyagok, mint az acélok bizonyos körülmények között ridegen törhetnek. A jelenségre, hogy az acéloknál bizonyos körülmények között nem ad elegendő biztonságot a hagyományos méretezés, katasztrófák hívták fel a figyelmet.**

Pl. Titanic

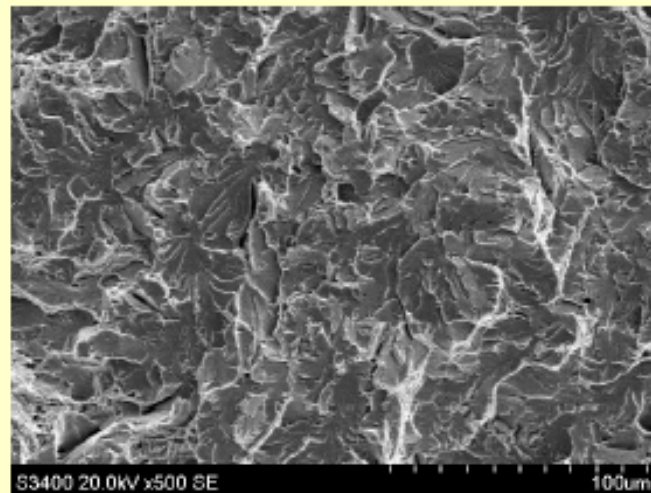
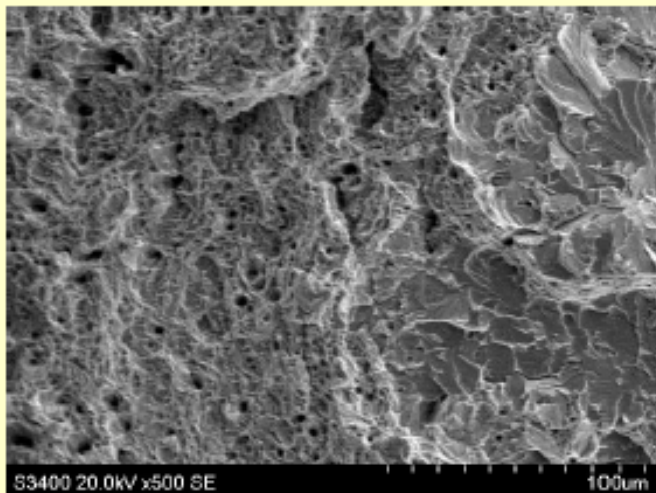
KV ütőmunka különböző anyagoknál



Az ütőpróbatest törete



Szívós törés



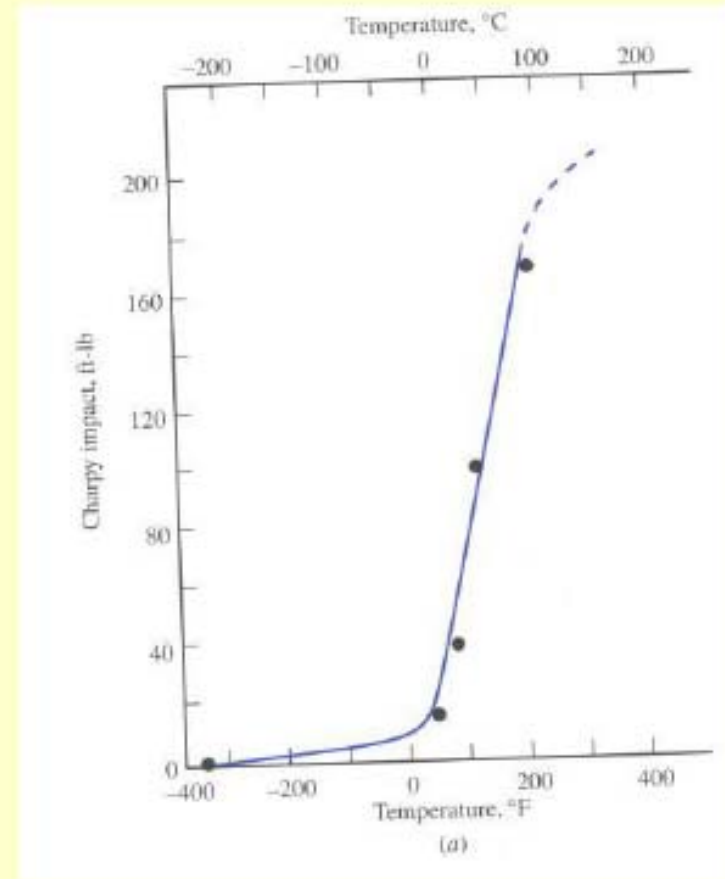
Rideg törtet

Szívós – rideg határ

Az állapot tényezők hatása

Hőmérséklet

- Az állapot tényezők közül a **hőmérséklet** csökkenése a rideg törést segíti elő, mert akadályozza a képlékeny alakváltozást.
- 0,2%C acél



Az állapot tényezők hatása

A feszültségállapot

- **háromtengelyű nyomás** (hidrosztatikus állapot, mindhárom főfeszültség nyomó), még a közismerten rideg márvány esetében is eredményez egy bizonyos képlékeny alakváltozást.

Az állapottényezők hatása

A feszültségállapot

- Ennek ellentettje a **háromtengelyű húzás**, minden anyag esetében rideg törést eredményez ha mindhárom feszültség egyforma nagy és húzó, az anyag nem alakváltozhat.
- Ehhez hasonló többtengelyű feszültségi állapot jön létre a bemetszéseknél, a belső anyaghibáknál.

Az állapot tényezők hatása

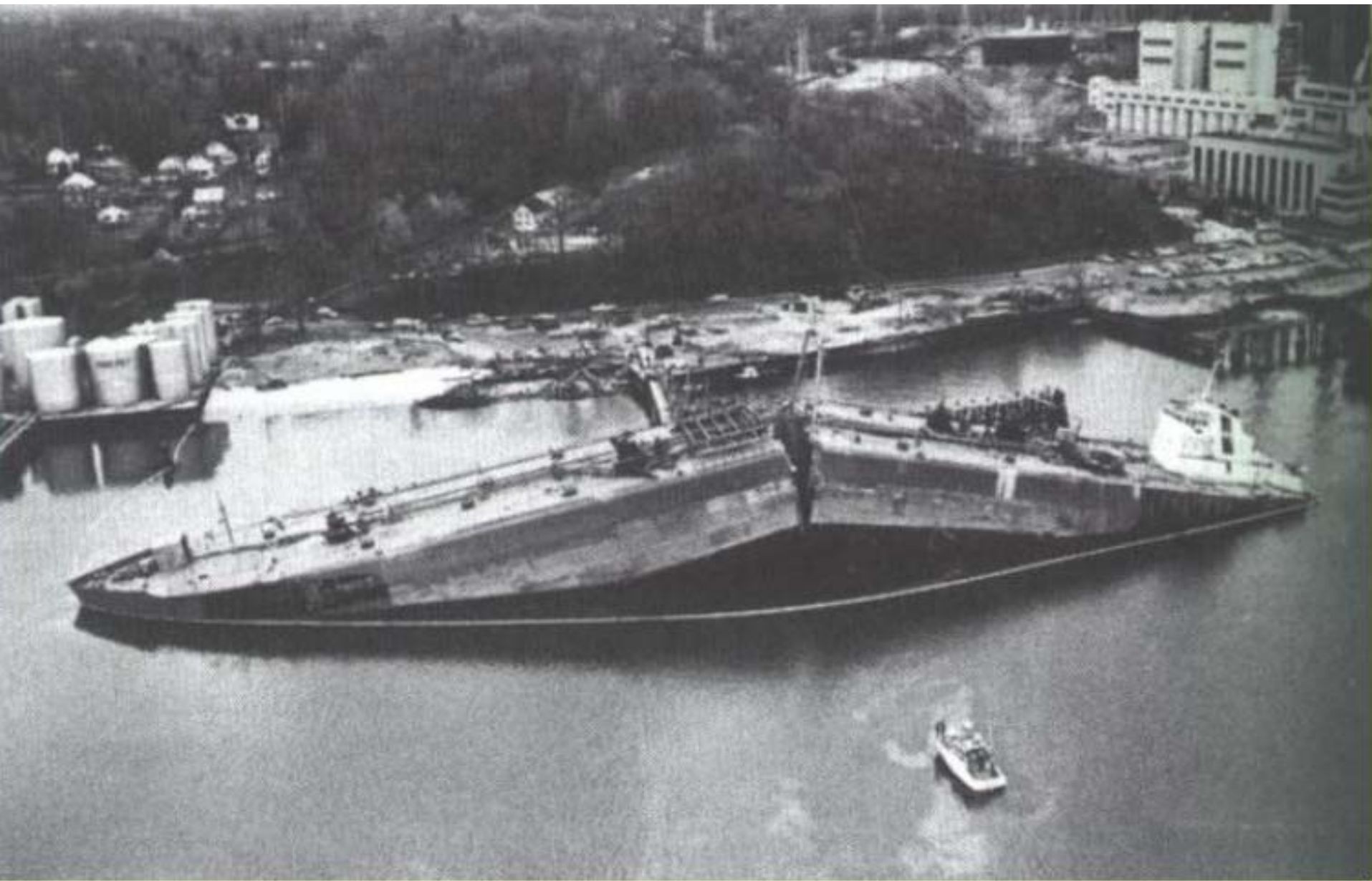
Az igénybevétel sebessége

- **Az igénybevétel sebességének növelése is a ridegséget segíti elő, hiszen az alakváltozás a diszlokációk mozgása és ahhoz idő kell.**

Ridegtörési problémák

- **Az olyan anyagok, mint az acélok bizonyos körülmények között ridegen törhetnek.** A jelenségre, hogy az acéloknál bizonyos körülmények között nem ad elegendő biztonságot a hagyományos méretezés, katasztrófák hívták fel a figyelmet.

XX. Sz. elejétől, nagyméretű acélszerkezetek (hidak, tartályok, hajók..)



A katasztrófákban közös volt

- ⇒ a nagyméretű szerkezetek előzetes alakváltozás nélkül törtek,
- ⇒ a terhelés jóval a megengedett terhelés alatt volt,
- ⇒ a repedés nagysebességgel terjedt,
- ⇒ a katasztrófák minden esetben hidegben következtek be,
- ⇒ az anyagok a hagyományos vizsgálatoknak (R_{eH} , R_m , A, Z HB) megfeleltek.

A megfigyelésekből leszűrhető volt

**hogy a nagy méretű, hidegben üzemelő,
dinamikusan igénybevett szerkezetek
esetében a hagyományos méretezés nem
nyújt elegendő biztonságot.**

A ridegtöréssel szembeni ellenállás vizsgálata

- A rideg töréssel szembeni biztonság vizsgálata, tehát azt jelenti, hogy meghatározzuk, hogy **adott anyag és szerkezet, milyen feltételek esetén fog szívósan illetve ridegen viselkedni.**
- A probléma több oldalról is megközelíthető.
 - ⇒ a szívósság ellenőrzése az átmeneti hőmérséklet alapján,
 - ⇒ a szívósság ellenőrzése a határhőmérséklet elv alapján,
 - ⇒ törésmechanika.

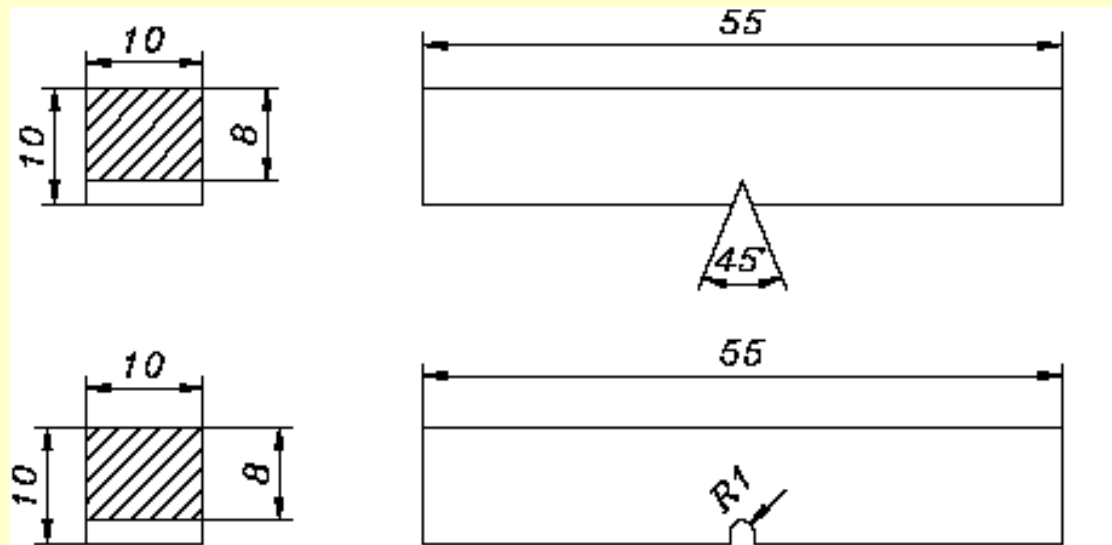
A szívósság ellenőrzése az átmeneti hőmérséklet alapján

Charpy féle ütővizsgálat

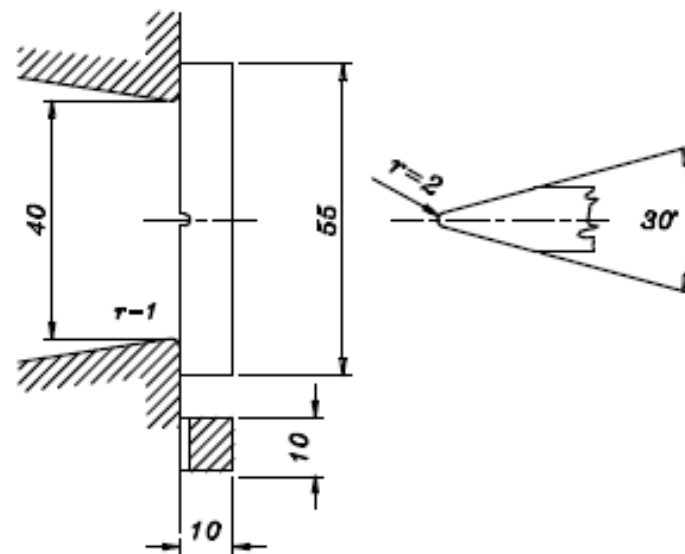
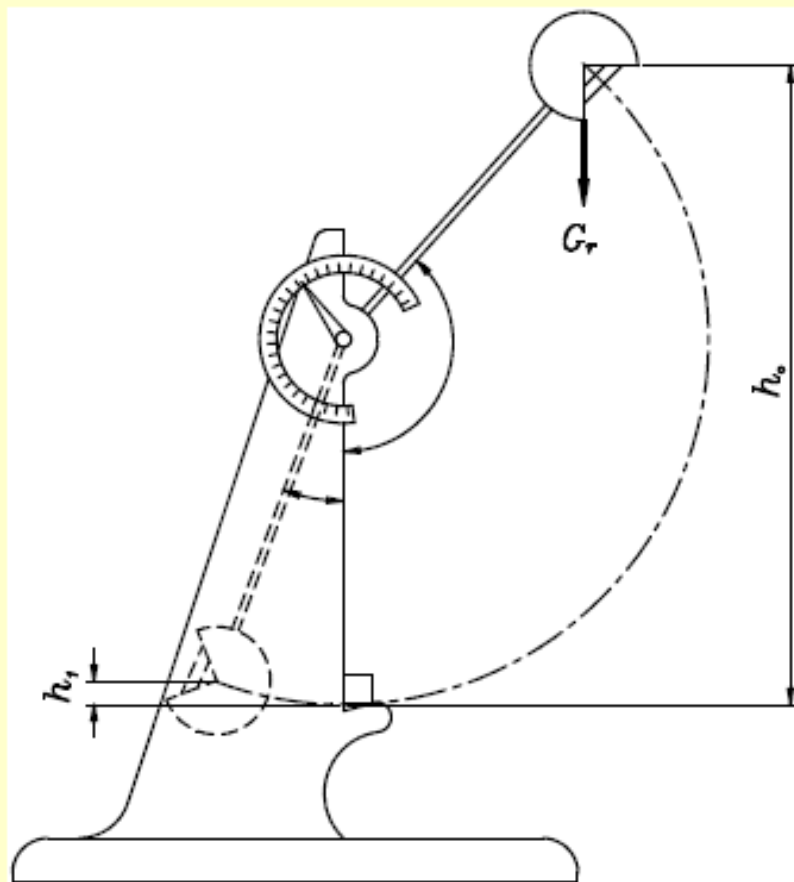
Az ütve hajlító vizsgálat (MSZ EN 10045-1) célja az anyag **dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállásának meghatározása**. A **dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállás a szívósság**.

Charpy vizsgálat

- A próbatest $10 \times 10 \times 55$ mm méretű és 2 mm mély V vagy U alakú bemetszéssel van ellátva



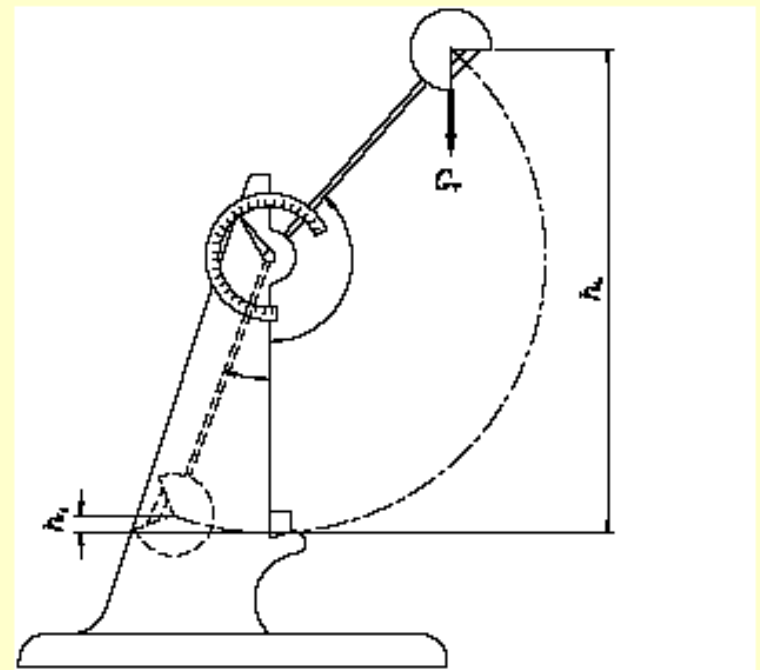
Charpy vizsgálat



Charpy vizsgálat

A kísérlet során a
próbatestben elnyelt
munka az
ütőmunka

$$K = G_r(h_0 - h_1) \text{ [J]}$$



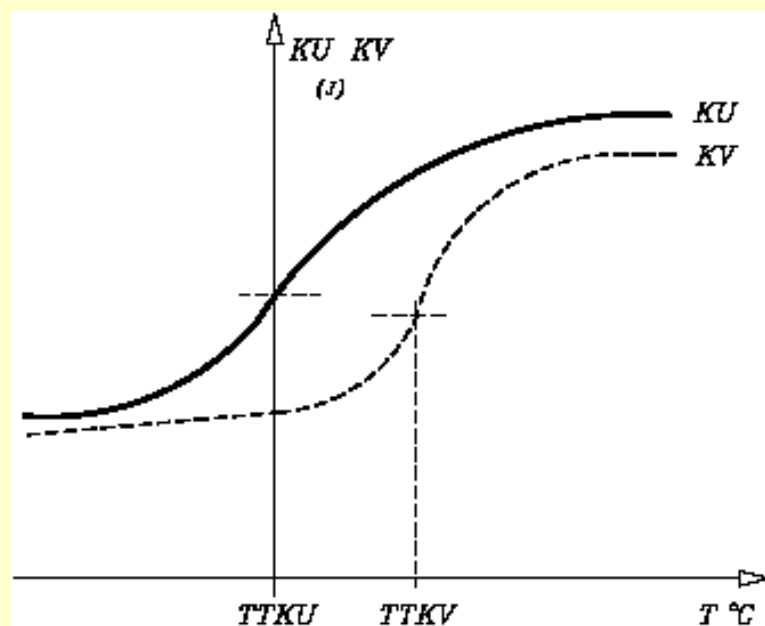
Mitől függ az ütőmunka?

- Az ütőmunkát **V** alakú bemetszéssel ellátott próbatestenen **KV**-vel illetve **U** alakú bemetszéssel ellátott próbatestenen **KU**-val jelöljük.

KV < KU illetve **KCV < KCU**

Mitől függ az ütőmunka?

A **hőmérséklet** függvényében felvett ütőmunka görbék lehetővé teszik a szívós és a rideg állapot közötti **átmenet hőmérsékletének** kijelölését.



Mit jelent a törés?

- A törés a szilárd test makroszkópos értelemben vett szétválása, ami a teherbíróképesség megszűnéséhez vezet. Minden anyag esetében létezik, egy **elméleti törési feszültség**:

$$\sigma_{\text{th}} = \left(\frac{E \cdot \gamma}{b} \right)^{1/2}$$

- ahol: E a rugalmassági modulus
- γ a felületi energia
- b az atomok közötti távolság

- Az **elméleti törési feszültséget** pontosan számítani nehéz, értéke az atomok közötti kötési erők alapján kb. **$E/10$** .
- Tudjuk azonban , hogy **a szerkezeti anyagok lényegesen kisebb terhelések (tízszor, ezerszer kisebb) hatására is károsodnak, törnek. Az eltérések oka, hogy a reális anyagok kristályhibákat , anyaghibákat, repedéseket stb. tartalmaznak.**

Törésmechanika

- A törésmechanika feltételezi, hogy a gyakorlatban előforduló anyagok **minden esetben tartalmaznak hibákat** és azt vizsgálja, **hogy milyen feltételek esetén kezdenek el ezek a hibák instabil vagy katasztrofális módon terjedni.**

A megválaszolandó kérdés tehát az, hogy :

⇒ adott feszültségi állapotban mekkora lehet a hiba,

⇒ adott hiba, milyen feszültségi állapotban kezd el instabilan terjedni.

Mitől függ a darab viselkedése?

A darab viselkedése a repedés csúcsában kialakuló feszültségektől függ.

A repedés instabil terjedése elérhető:

⇒ a feszültség, σ növelésével

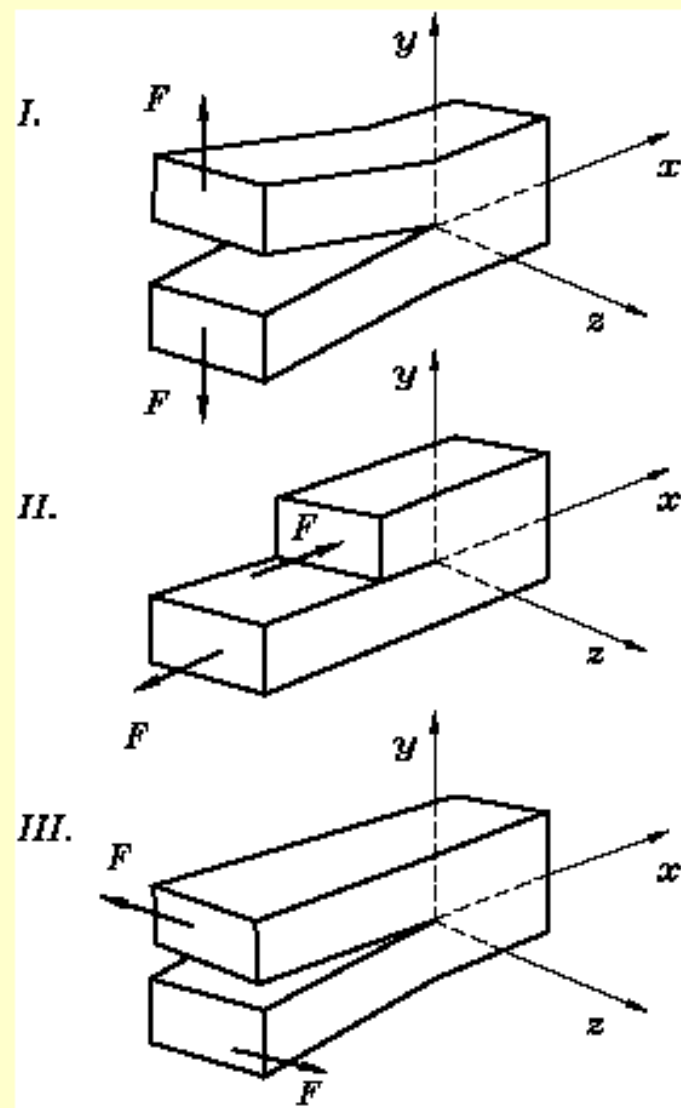
⇒ a repedés méretének, a növelésével

Az instabil repedésterjedés megindulásához tartozó feszültségintenzitási tényező a kritikus feszültségintenzitási tényező :

K_c . Mértékegysége: $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

Az instabil repedés terjedés feltétele:

$$K = K_c$$



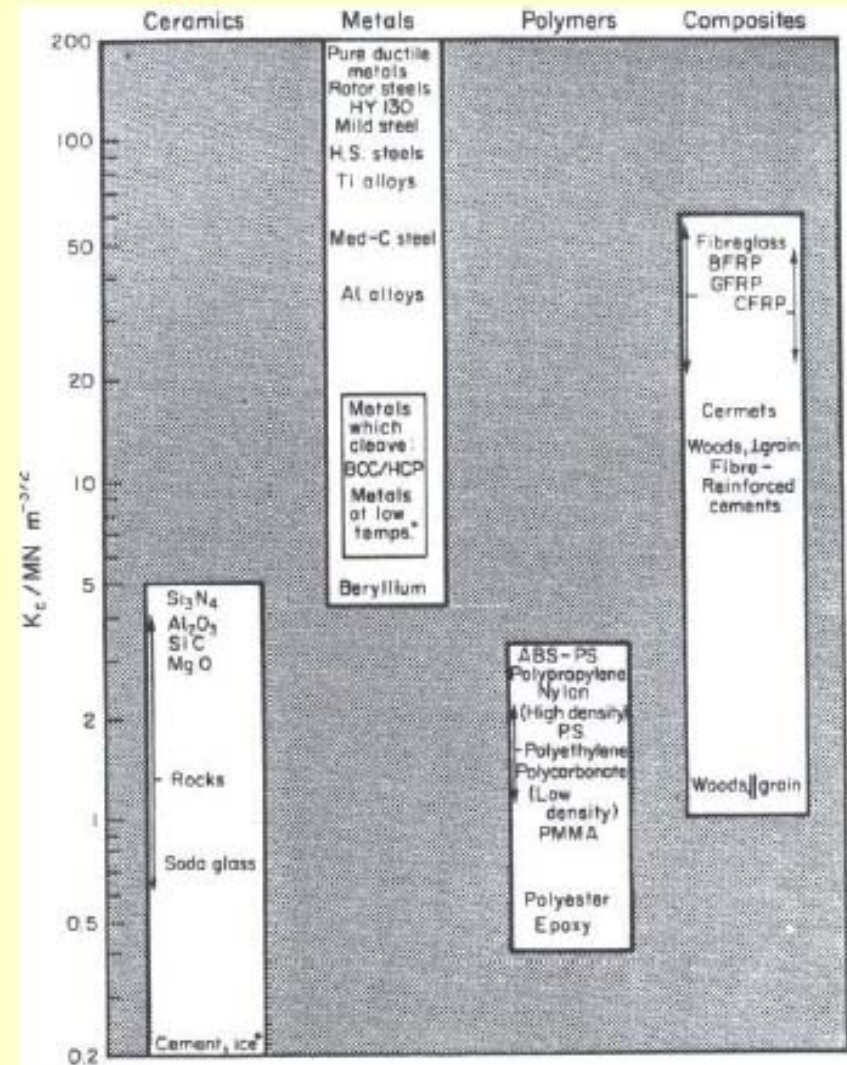
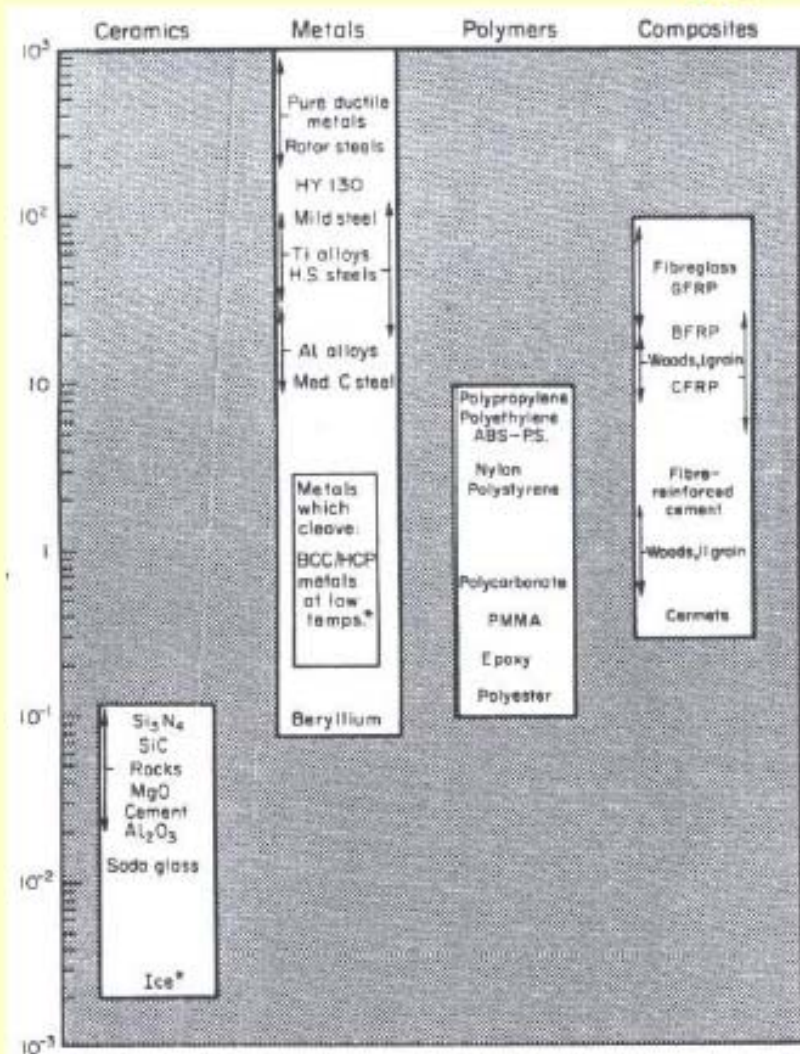
Az instabil repedésterjedés megindulásakor

$$K_{Ic} = \sigma \sqrt{\pi a_c} = \sqrt{G_c E}$$

Repedés terjedéssel
szembeni ellenállás

Törésmechanikai mérőszámok

G_{IC} és K_{IC}



A törésmechanika alkalmazása

A törési biztonság megítélése a LRTM alapján

A szerkezetre ható igénybevétel alapján meghatározható a K_{szerk} .

(A szerkezetben meghatározott hibákat ellipszissel vagy fél ellipszissel helyettesítjük.)

$$K_{szerk} \leq K_{Ic}$$

Ennek alapján

\Rightarrow vagy a kritikus feszültséget

\Rightarrow vagy a kritikus repedéshosszúságot keressük