

# A töréssel szembeni ellenállás vizsgálata

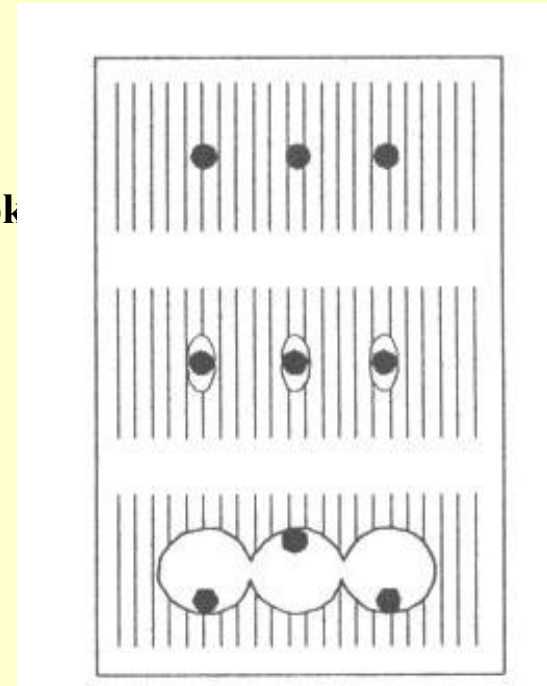
# **Az anyag viselkedése terhelés hatására**

**Az anyagok lehetnek:**

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

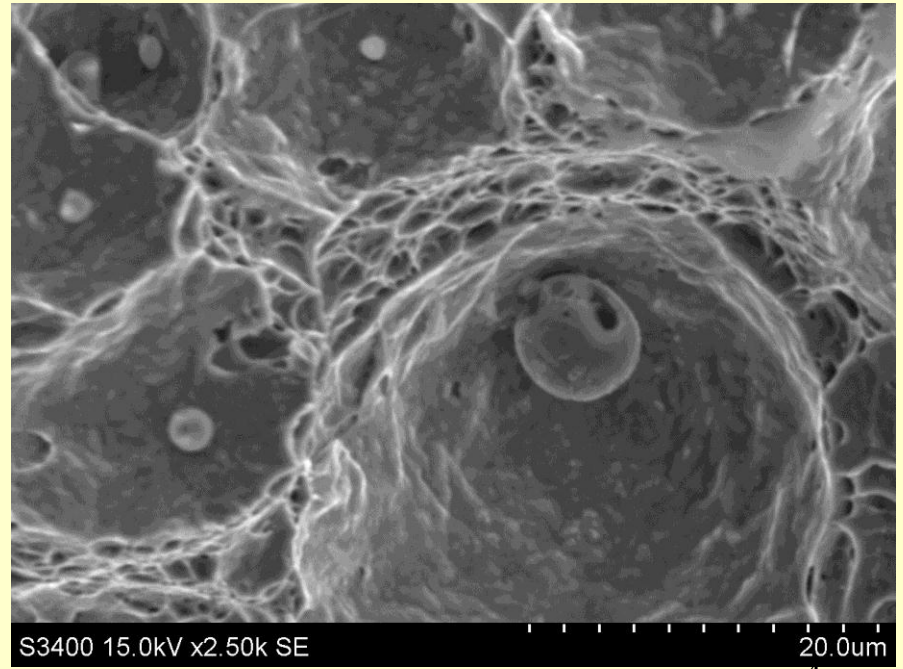
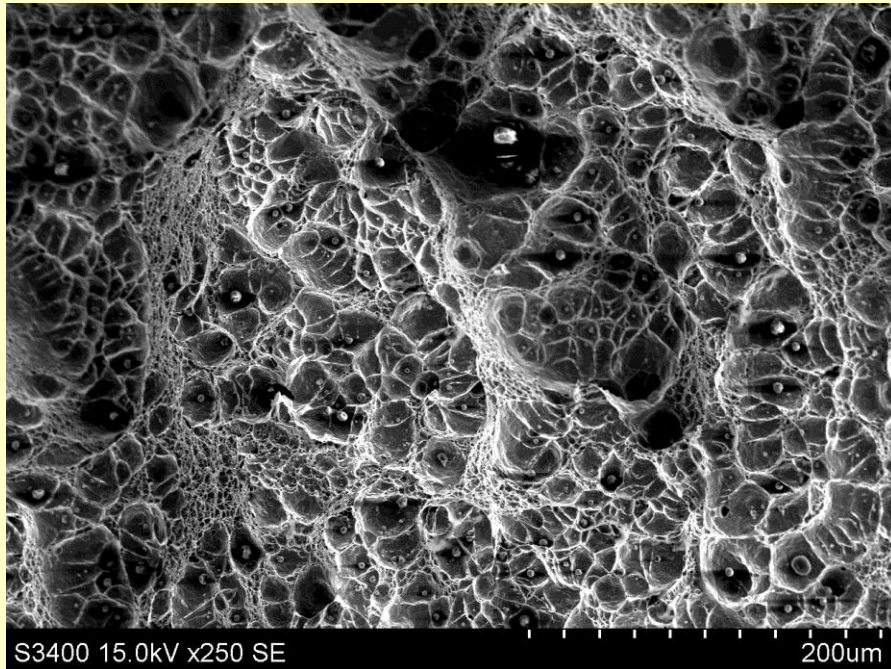
# Szívós vagy képlékeny anyag

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



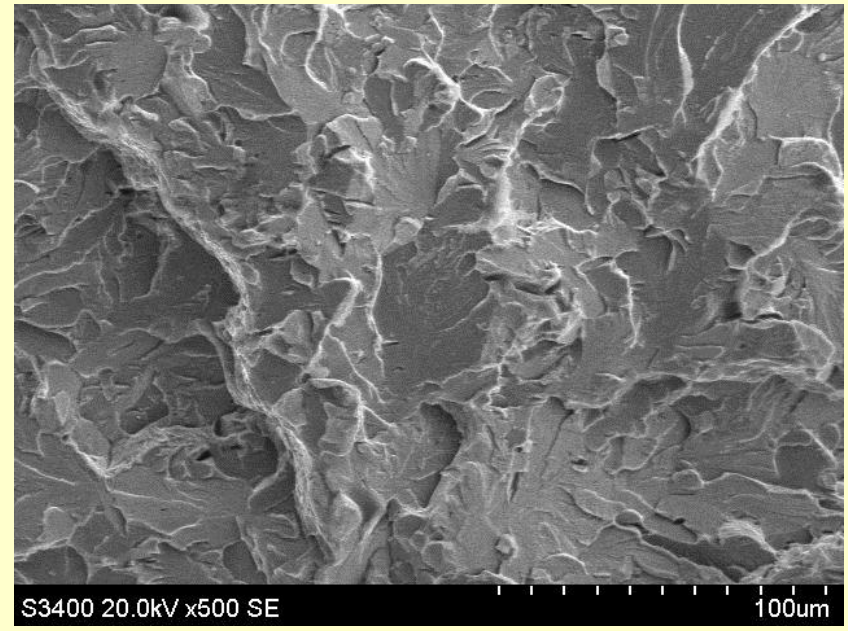
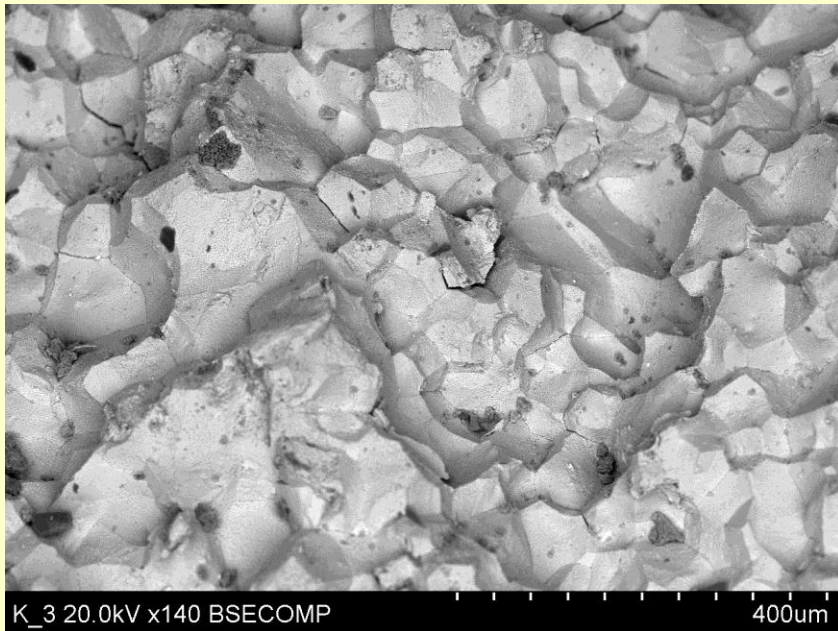
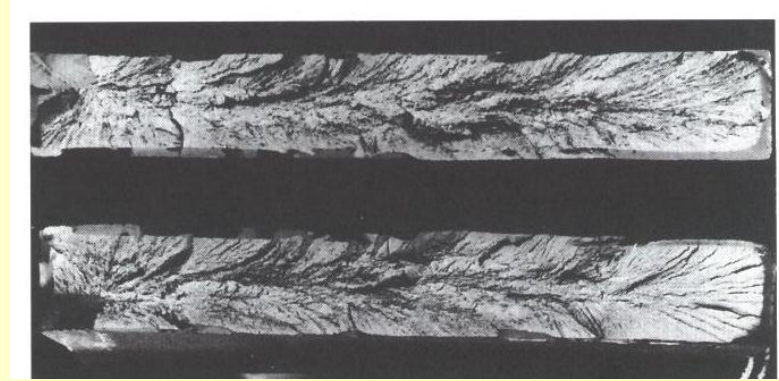
# Szívós vagy képlékeny anyag

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.





# 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

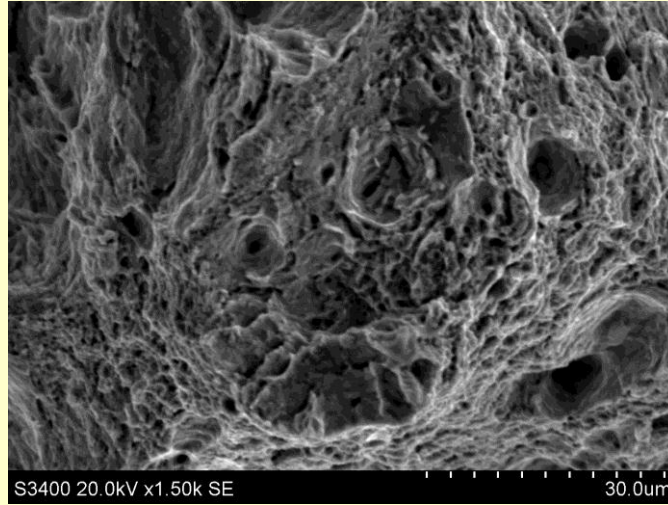
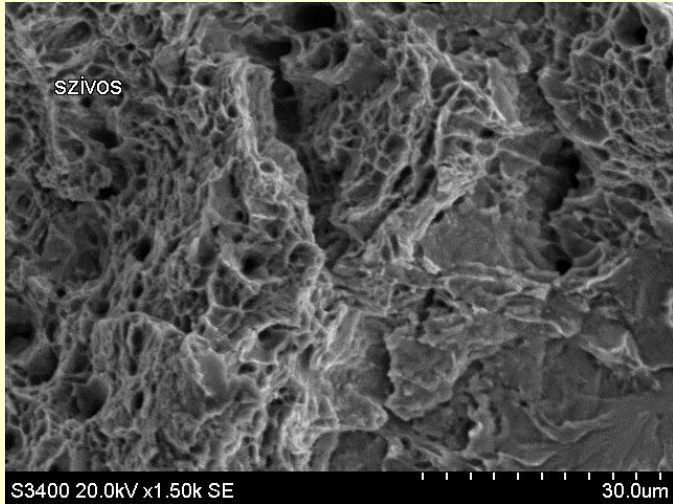
## Szívós anyagok

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

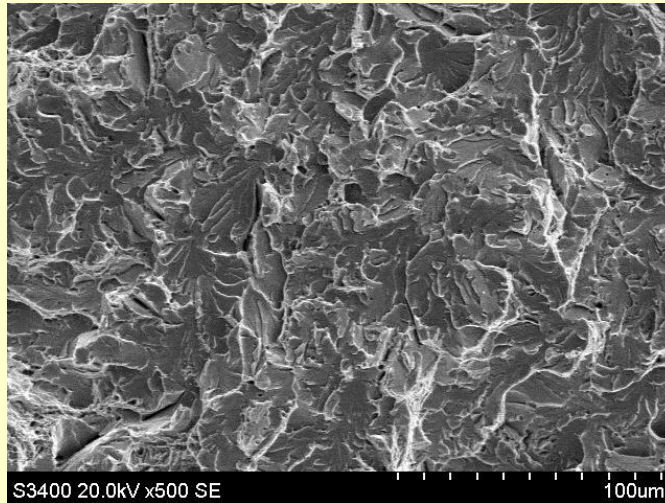
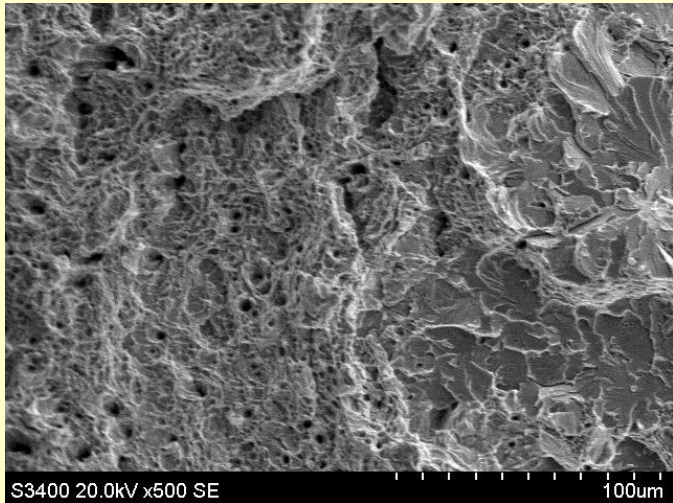
# Az anyag és annak állapota

- **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.**

# Az ütőpróbatest törete



Szívós törés



Rideg törtet

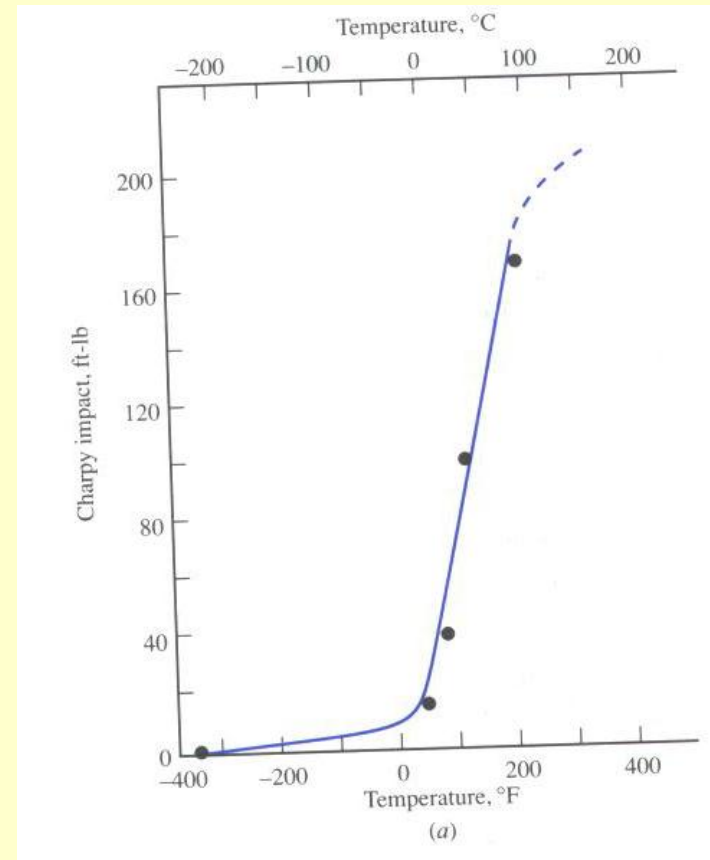
Szívós – rideg határ

# Az állapottényezők hatása

## Hőmérséklet

- Az állapottényezők 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.
- **Alakíthatósági vizsgálatok**

Kármán Tódor - Göttingen 1911

# 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.



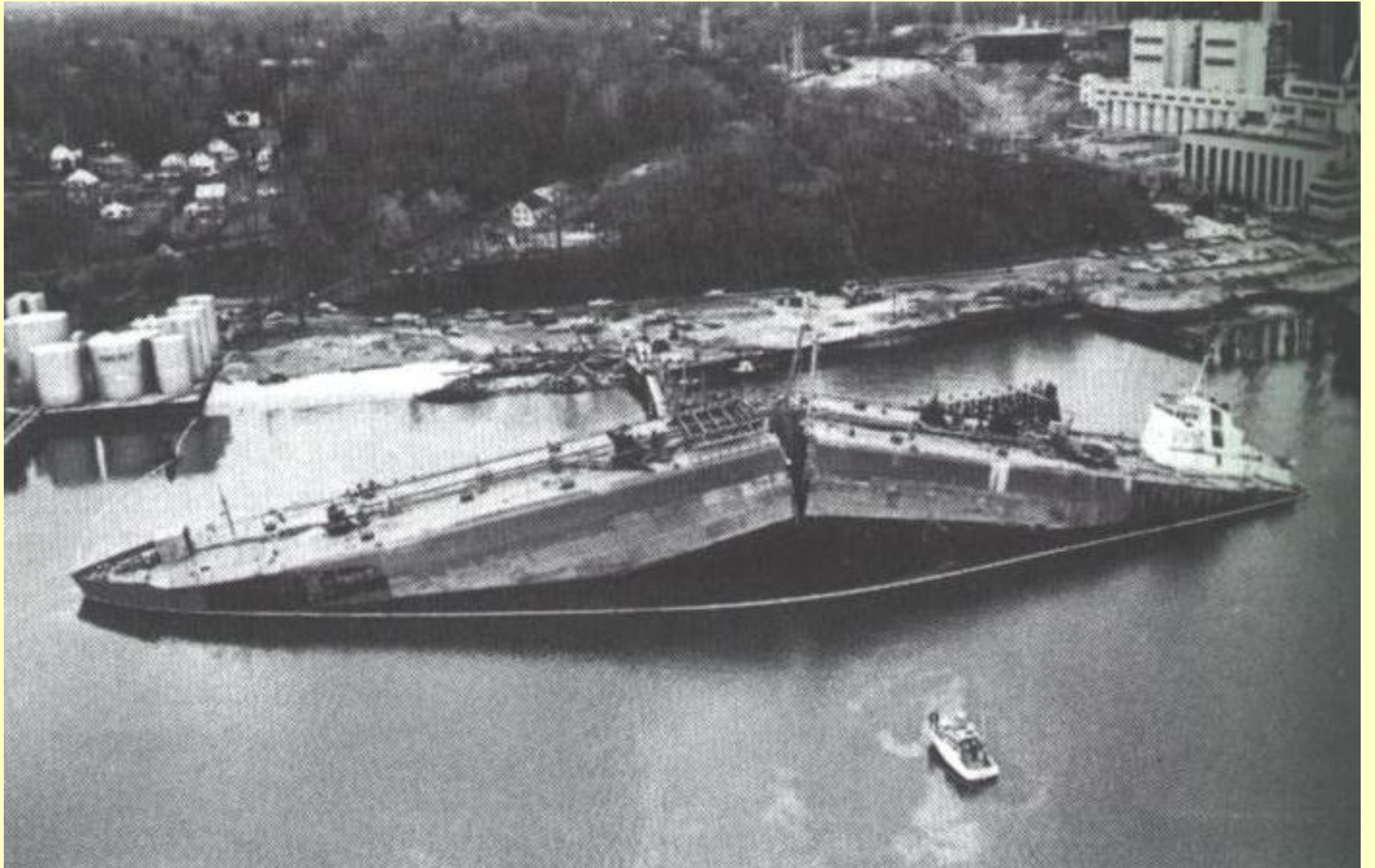
# Az állapot tényezők hatása

## Az igénybevétel sebessége

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

# Ridegtörési problémák

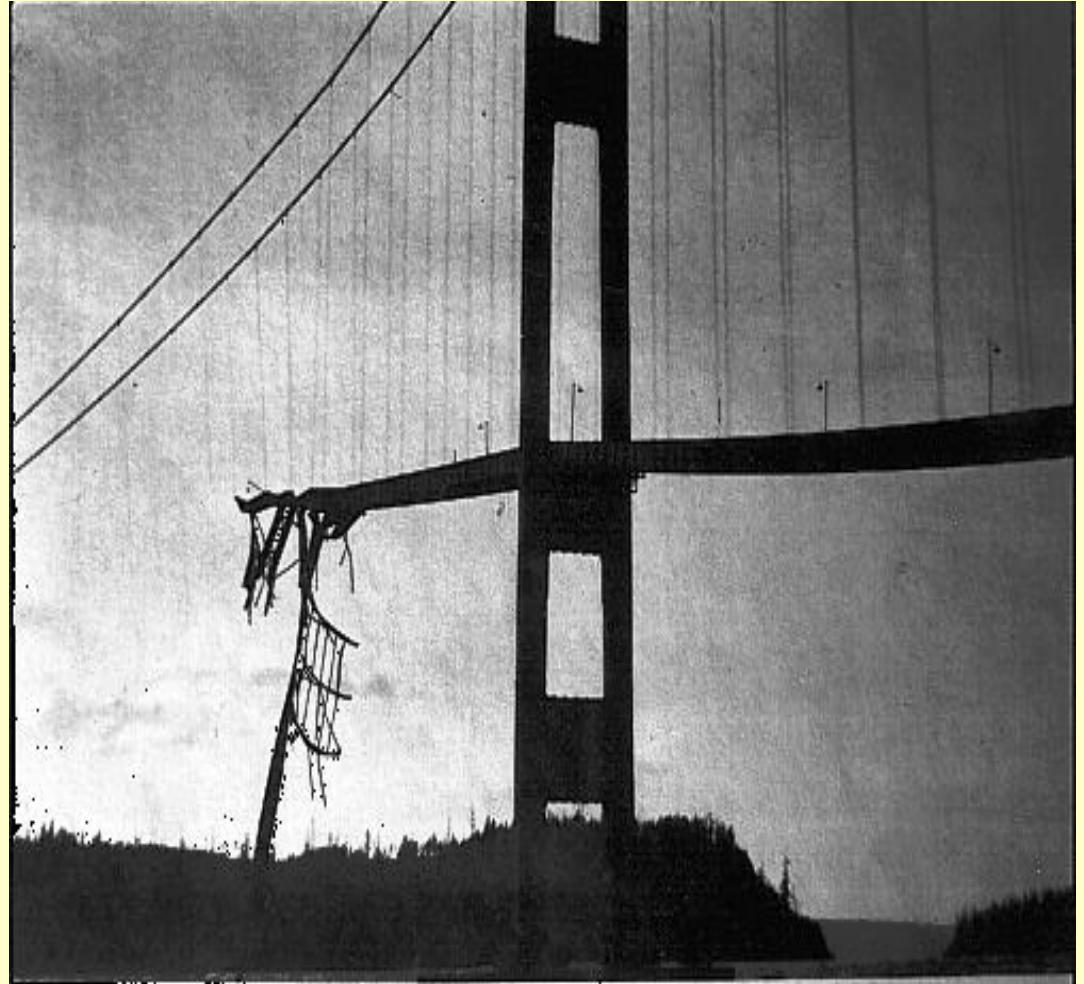
- **Az olyan anyagok, mint az acélok bizonyos körülmények között ridegen törhetnek. A jelenségre, hogy az acéloknál bizonyos körülmények között nem ad elegendő biztonságot a hagyományos méretezés, katasztrófák hívták fel a figyelmet.**



# Ridegtörési esetek

## Hidak

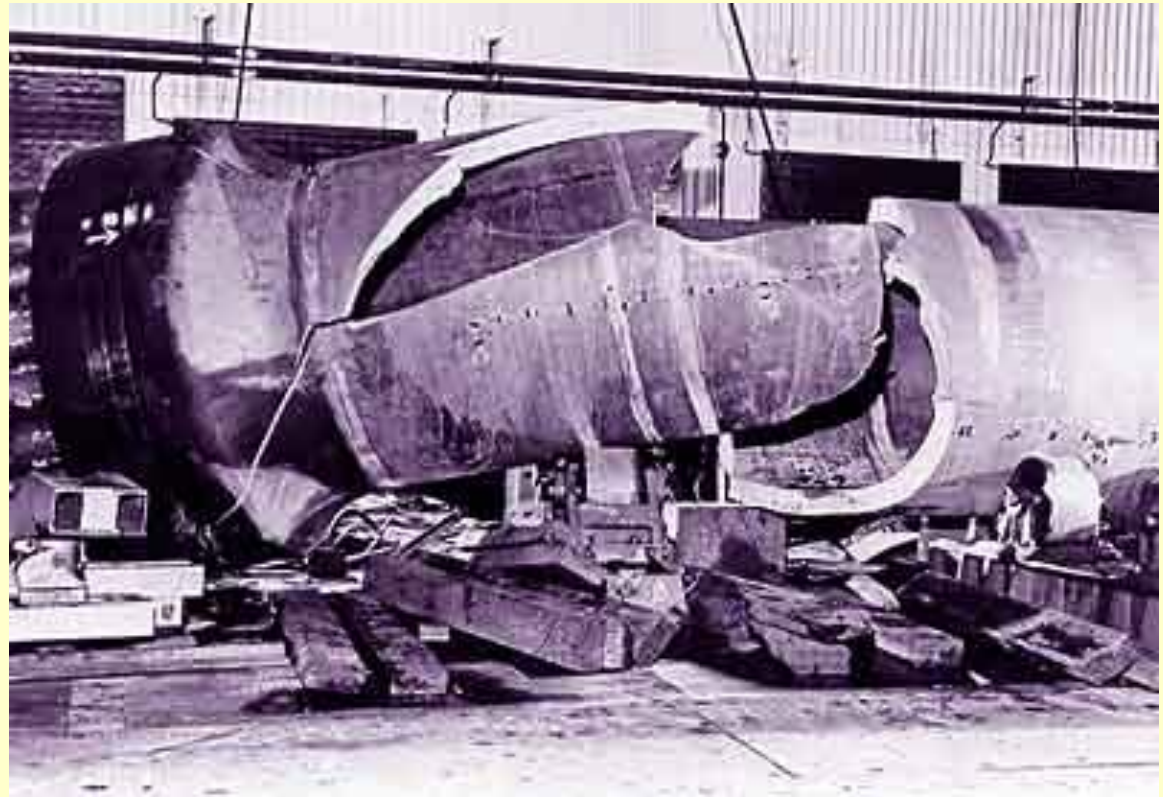
- pl. 1923 Kína vasúti híd
- 1938 Németország új autópálya híd
- 1930-40 Belgium hegesztett híd 50 db 25 mm széles 2 m hosszú repedés
- 1951 Kanada 4 db 50 m-es nyílás a folyóba szakadt



# Ridegtörési esetek

## Tartályok

- 1919 Boston melaszos tartály
- 1944 USA -162 C°-os földgáz tartály
- 1944 New York 20 m átmérőjű H<sub>2</sub> tartály 20 darabra
- 1950 Répcelak





# Ridegtörési esetek

## Hajók

- 1946-ig 4694 hajóból minden 5.
- Liberty 1100 darabból 400 sérült, 16 db kettétört





# 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.**

# Constance Tipper



Constance Tipper was one of the first women to take the Natural Sciences Tripos, in 1915. Her major research contribution was to discover why during the Second World War the Liberty Ships were breaking in two.

Working from the Engineering Department in Cambridge, Tipper established that there is a critical temperature below which the fracture in steel changes from ductile to brittle. The Liberty Ships in the North Atlantic were subjected to such low temperatures that they would have been susceptible to brittle failure.

The full implications of her work were not realised until the 1950s but after that, the

Tipper test became the standard method for determining this form of brittleness in steel.

## Constance Tipper

Her speciality was in the strength of metals, and the way in which this affected engineering problems. Her major contribution was during the Second World War investigating the causes of brittle fracture in Liberty Ships.



A fractured Liberty Ship

Liberty Ships were the first all-welded pre-fabricated cargo ships and were mass produced in the United States. 2,751 Liberty Ships were built between 1941 and 1945. Only two now remain afloat.

Professor John Baker, who was Head of Engineering at that time was asked to launch an investigation into the reasons why these ships were breaking up so he brought Constance Tipper in as the technical expert.

## Constance Tipper

Working from the Engineering Department in Cambridge, Tipper demonstrated that the fractures were caused by the steel used rather than the fact that the ships had been welded, as was first thought. She established that there is a critical temperature below which the fracture mode in steel changes from ductile to brittle.

Ships in the North Atlantic were subjected to such low temperatures that they would have been susceptible to brittle failure. She wrote a book called *The Brittle Fracture Story* published in 1962 by CUP.

Cambridge University appointed her a Reader in 1949. From this time she was a full member of the Faculty of Engineering and the only woman to hold office in the otherwise all male department.

Constance Tipper was also the first person to use the scanning electron microscope for the examination of metallic fracture faces.

She used the second SEM that was ever built, which was produced by a team headed by CW Oatley in the Department of Engineering.

She officially retired in 1960. Newnham College marked her 100th birthday with the planting of a sweet chestnut in the grounds, known as the Tipper Tree.

She died in 1995, aged 101.



Planting of the 'Tipper Tree'

*Photographs courtesy of the Principle and Fellows of Newnham College.*

# 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,
  - ⇒ törésmechanika.



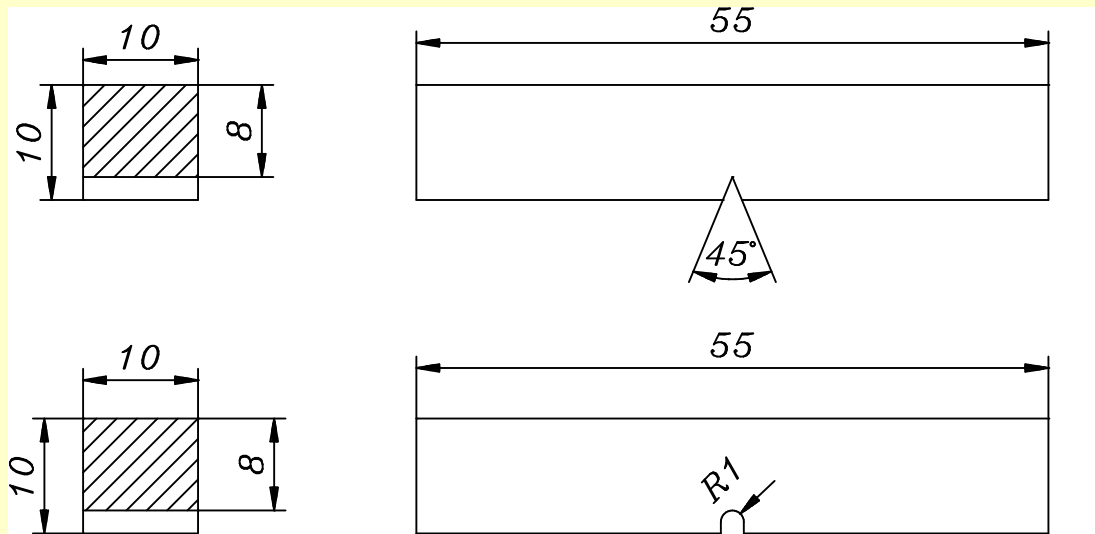
# A szívósság ellenőrzése az átmeneti hőmérséklet alapján

## Charpy féle ütővizsgálat

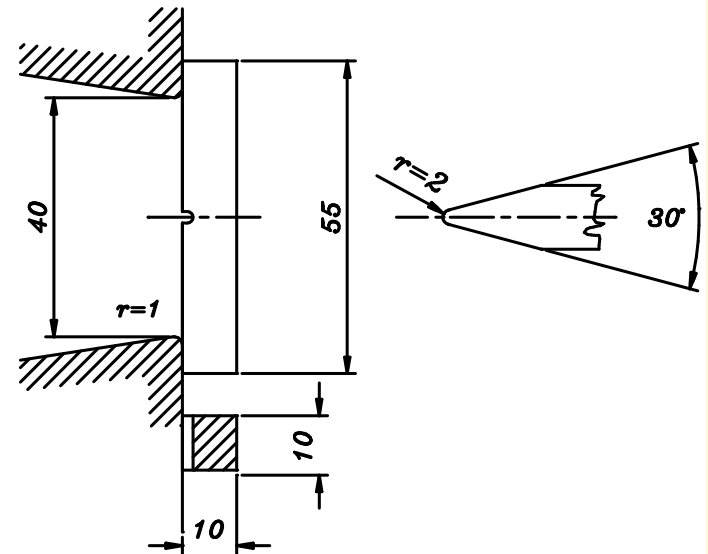
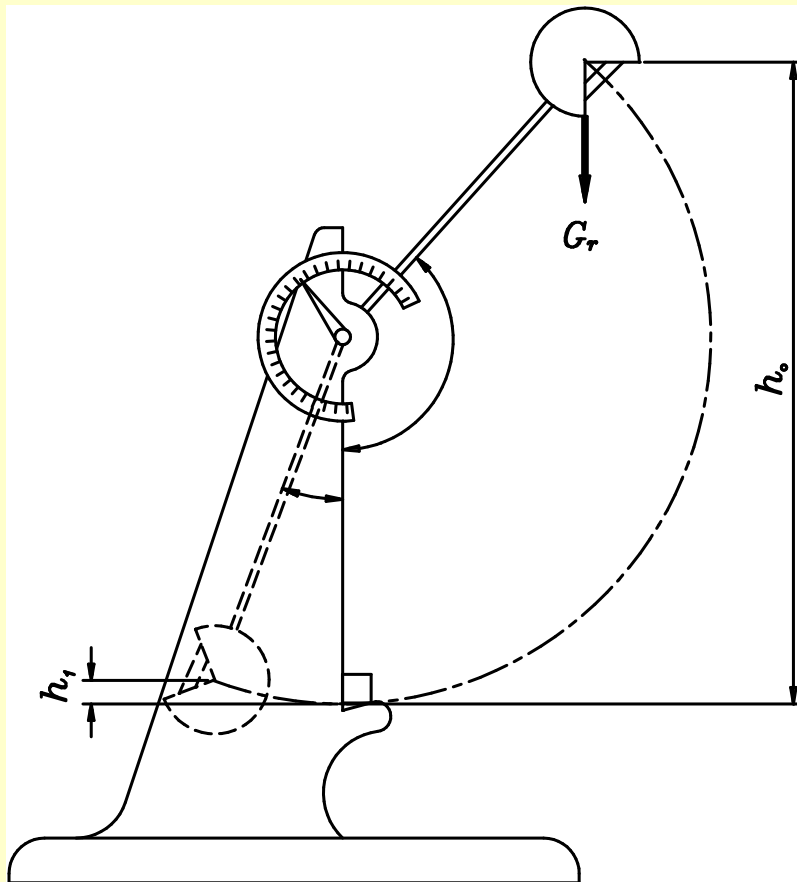
Az ütve hajlító vizsgálat (MSZ EN 10045-1) célja az anyag **dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállásának meghatározása**. A **dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállás a szívósság**.

# Charpy vizsgálat

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



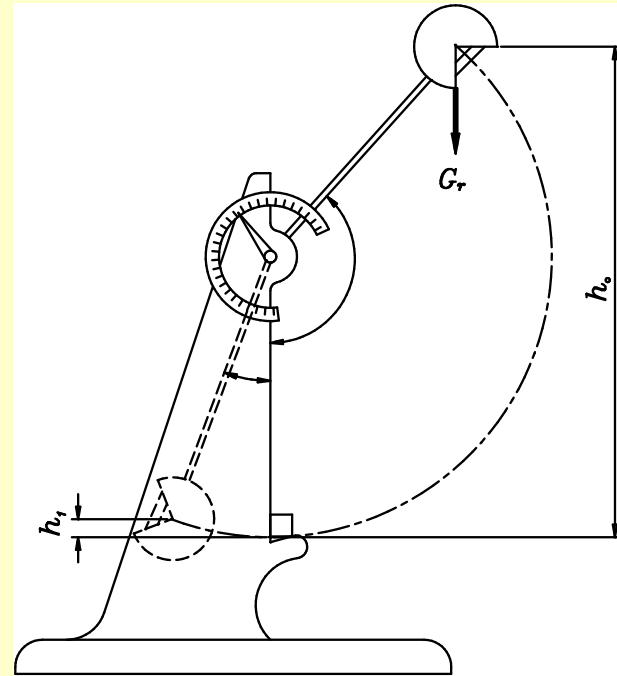
# Charpy vizsgálat



# Charpy vizsgálat

A kísérlet során a  
próbatestben elnyelt  
munka az  
**ütőmunka**

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



# Mitől függ az ütőmunka?

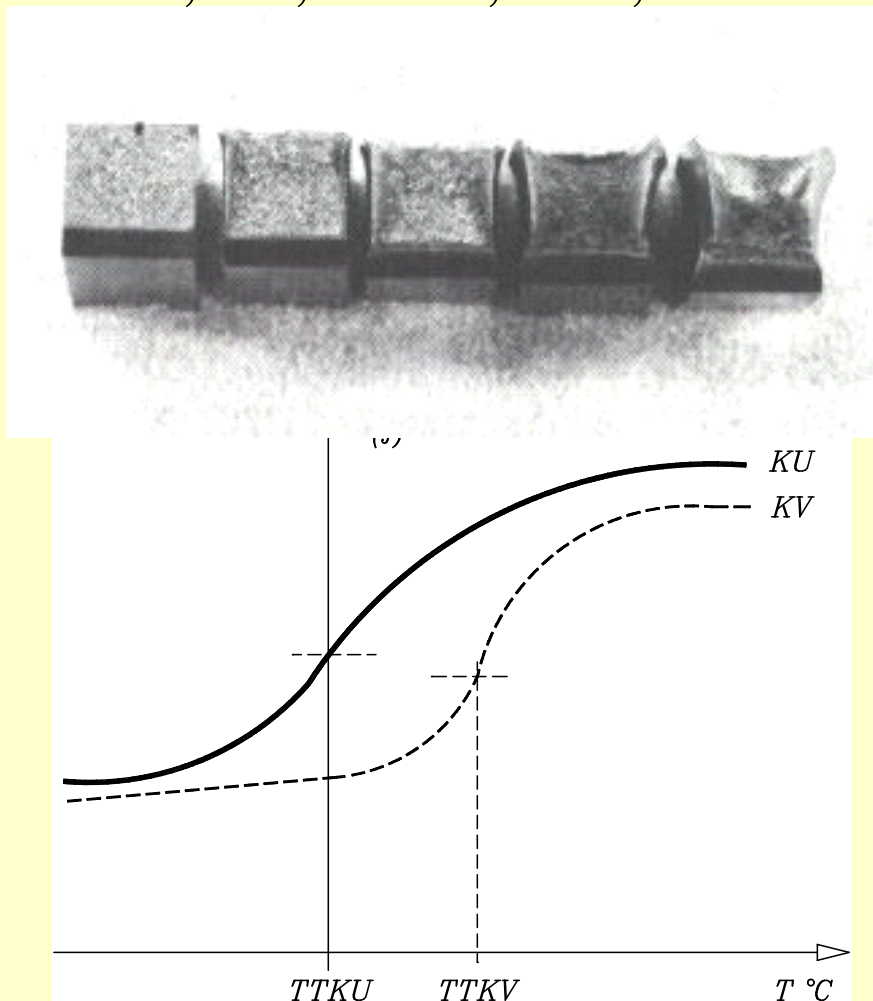
- Az ütőmunkát  $V$  alakú bemetszéssel ellátott próbatesten **KV**-vel illetve  $U$  alakú bemetszéssel ellátott próbatesten **KU**-val jelöljük.

**KV < KU** illetve **KCV < KCU**

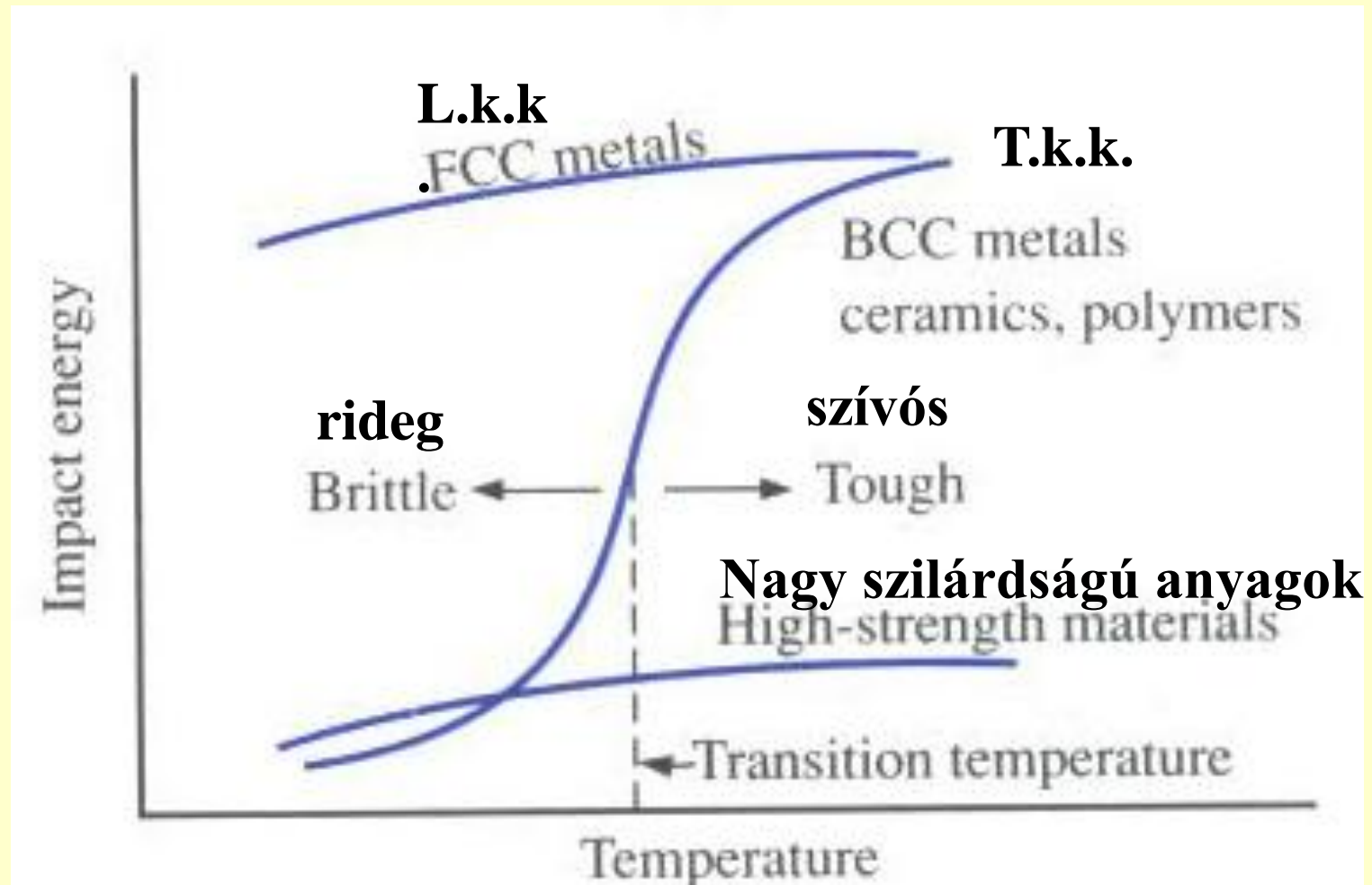
# Mitől függ az ütőmunka?

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

-196, 0, 25, 50, 93 C°



# KV ütőmunka különböző anyagoknál





# 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**:

- ahol:  $E$  a rugalmassági modulus
- $\gamma$  a felületi energia
- $b$  az atomok közötti távolság

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

- 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, **hogyan 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.**

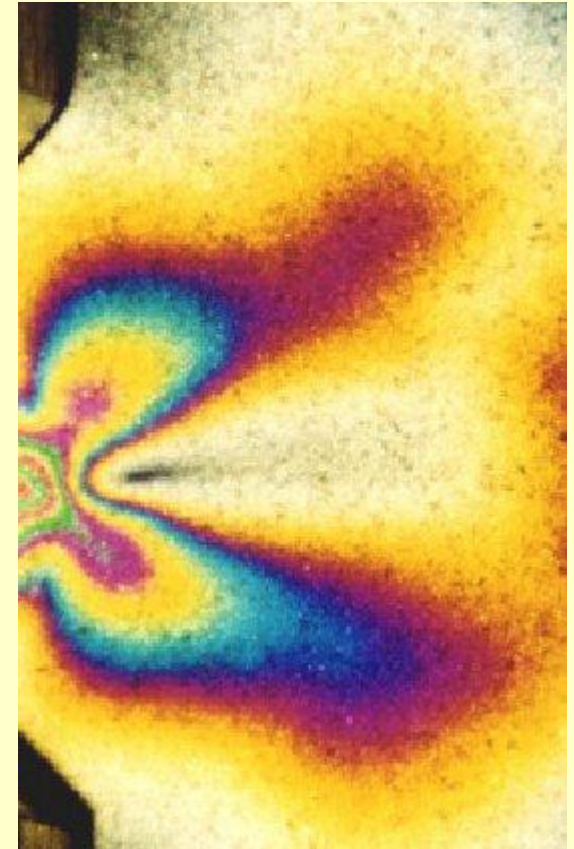
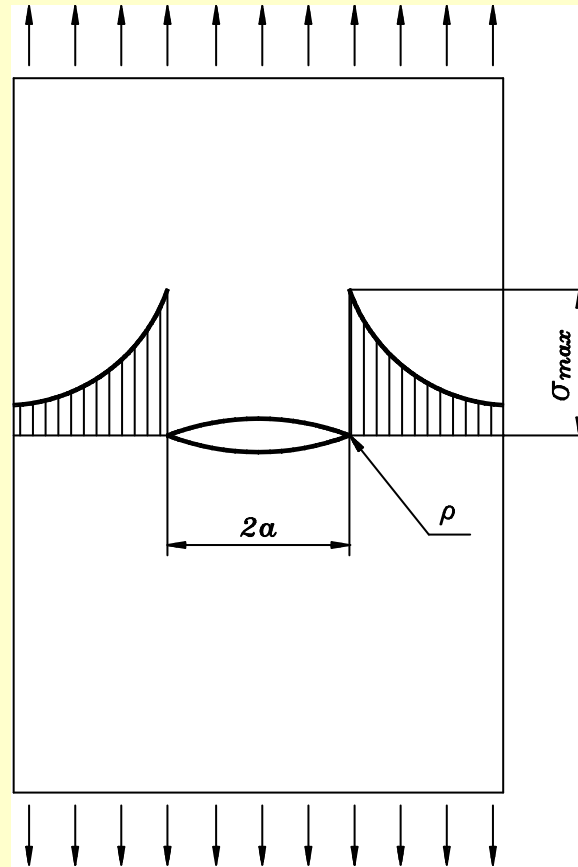
**A repedés instabil terjedése elérhető:**

**⇒ a feszültség,  $\sigma$  növelésével**

**⇒ a repedés méretének,  $a$  növelésével**

# Feszültség koncentráció

Az anyagban lévő belső hibák, repedések feszültségkoncentrátorként működnek, a környezetében a feszültségeloszlás megváltozik.



# Feszültség koncentráció

$\sigma$  feszültséggel terhelt lemez

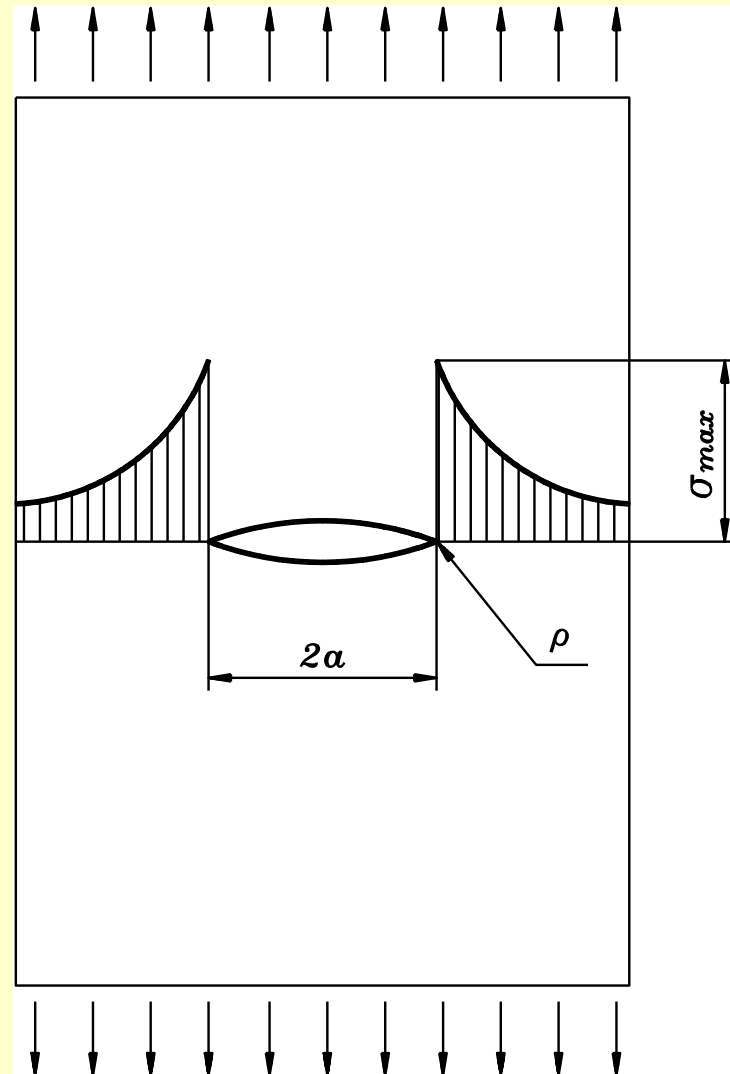
$2a$  hosszúságú, ellipszis alakú hiba közepen

$\rho$  lekerekítési hibával

$$\sigma_{\max.} = \sigma \left( 1 + 2 \sqrt{\frac{a}{\rho}} \right)$$

ha az ellipszis repedéshez konvergál  $\rho \ll a$

$$\sigma_{\max} = 2\sigma \sqrt{\frac{a}{\rho}}$$



# Hogyan viselkedik terhelés során egy repedést tartalmazó szerkezeti elem?

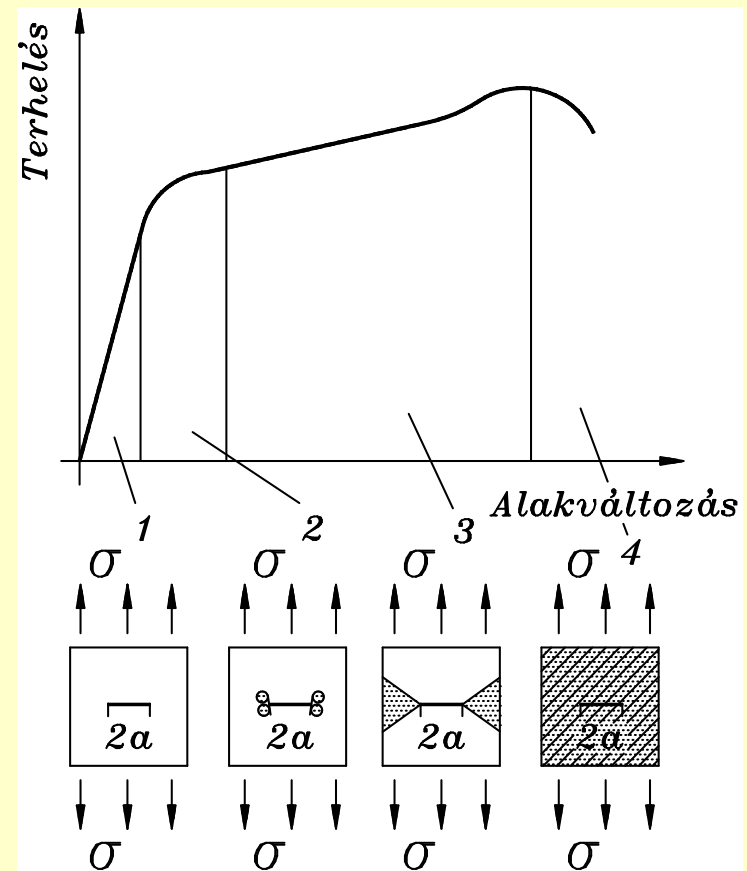
Az **1. szakaszban** az alakváltozás rugalmas, ez a *lineárisan rugalmas törésmechanika* szakasza (LRTM),

a **2. szakaszban** a repedés csúcsában kialakuló képlékeny alakváltozás kicsi, ez a *kis képlékeny tartományú LRTM*

területe a

**3. a képlékeny törésmechanika** (KTM) területe.

A **4. szakaszban** az egész keresztmetszet képlékenyen alakváltozik.





# Törésmechanikai vizsgálatok

**A vizsgálatokkal olyan  
méretezésre is alkalmas anyagjellemzők  
( $K_{IC}$  és COD)  
határozhatók meg, amelyek  
a külső terhelés és a szerkezetben  
megengedhető hibaméret között  
állítanak fel összefüggést.**

# Feszültségintenzitási elmélet

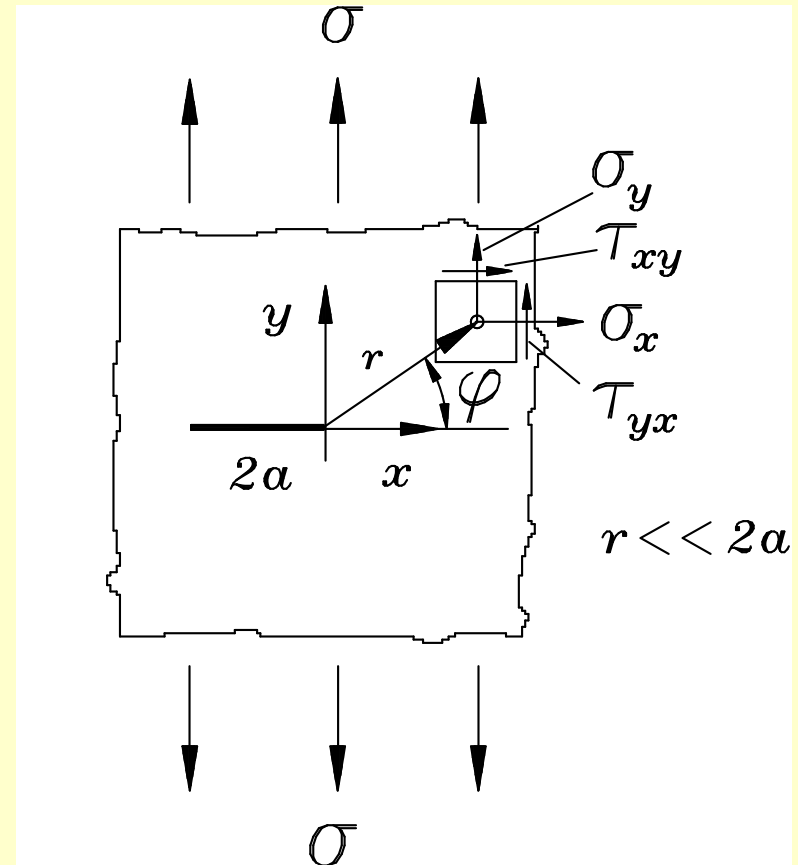
(Irwin modell, LRTM)

A repedés tövében ébredő  
feszültségek:

$$\sigma_x = \frac{\sigma \sqrt{\pi \cdot a}}{\sqrt{2r\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma \sqrt{\pi \cdot a}}{\sqrt{2r\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma \sqrt{\pi \cdot a}}{\sqrt{2r\pi}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}$$



$$\tau_{xy} = \tau_{yx}$$

$\sigma_z = 0$  sík feszültségi állapot esetén

$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$  sík alakváltozási állapot esetén, ahol  $\nu$  a Poisson szám

# Feszültségintenzitási tényező

$$\sigma_x = \frac{\sigma \sqrt{\pi \cdot a}}{\sqrt{2r\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma \sqrt{\pi \cdot a}}{\sqrt{2r\pi}} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right)$$

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma \sqrt{\pi \cdot a}}{\sqrt{2r\pi}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2}$$

$$K = \sigma \sqrt{\pi \cdot a}$$

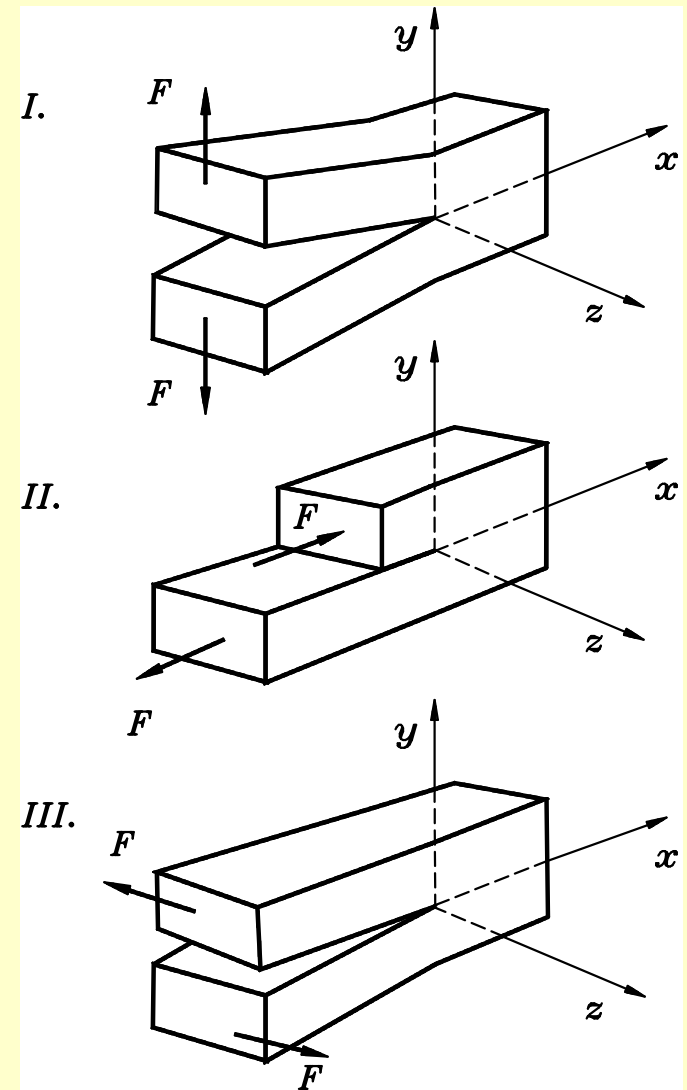
A feszültségintenzitási tényező a repedés környezetében kialakuló feszültségek nagyságát jellemzi.

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

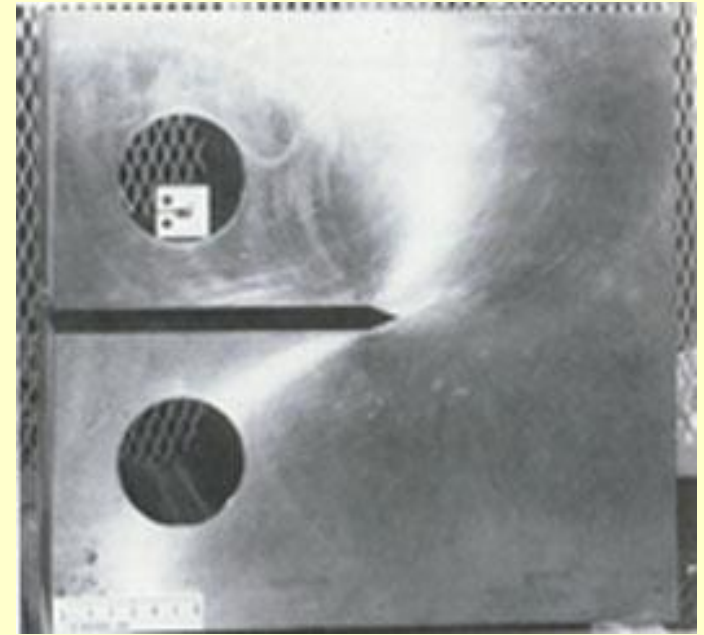
$K_c$  . Mértékegysége:  $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$

Az instabil repedés terjedés feltétele:

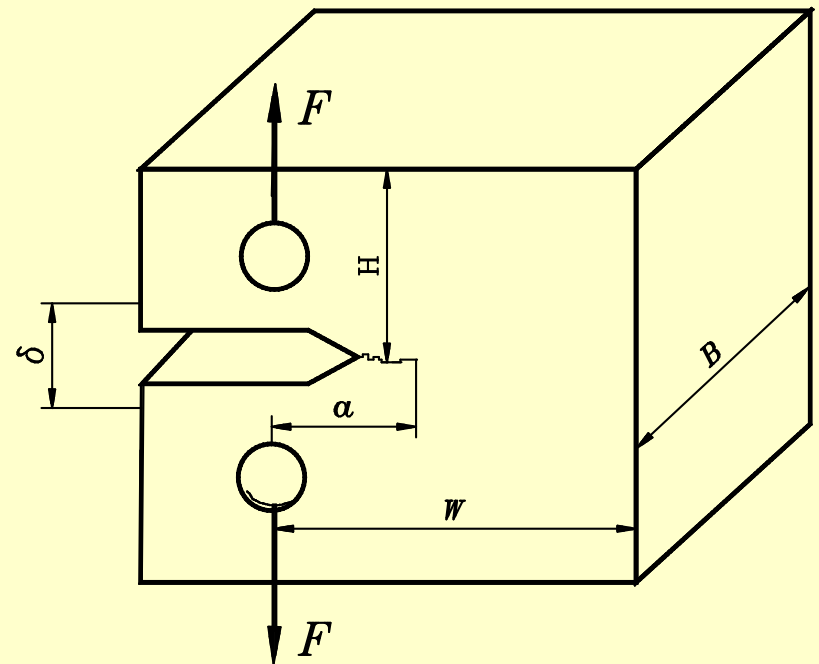
$$K = K_c$$



# A $K_{Ic}$ meghatározása



A próbatestet a törési szívósság meghatározása előtt fárasztó vizsgálattal elő kell repeszteni. A terhelés során fel kell venni az erőt a bemetszett felületek egymáshoz képesti elmozdulásának függvényében.



# Az instabil repedésterjedés megindulásakor

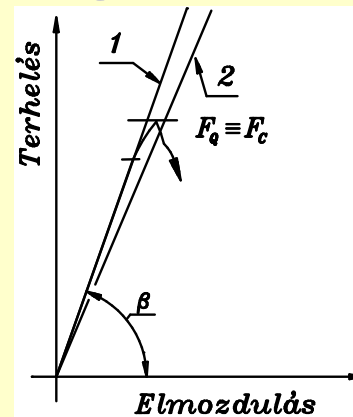
$$K_{Ic} = \sigma \sqrt{\pi a_c}$$

# A $K_{Ic}$ meghatározása

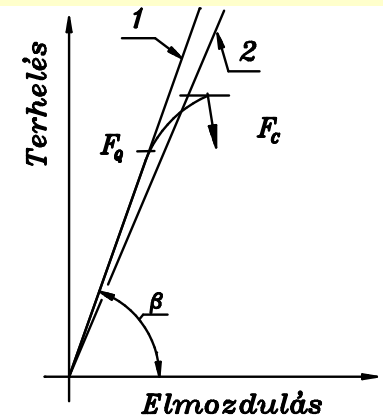
## Terhelés - bemetszett felületek közötti elmozdulás görbék

A repedés instabil terjedését az jellemzi, hogy

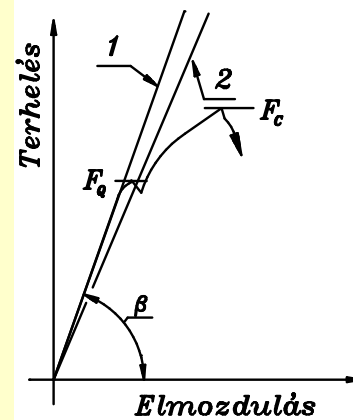
a repedés kinyílása csökkenő, esetleg változatlan erő mellett is folytatódik.



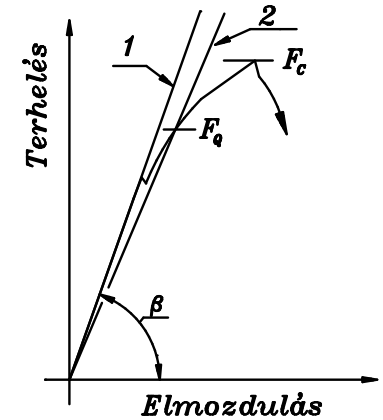
a.,



b.,



c.,



d.,



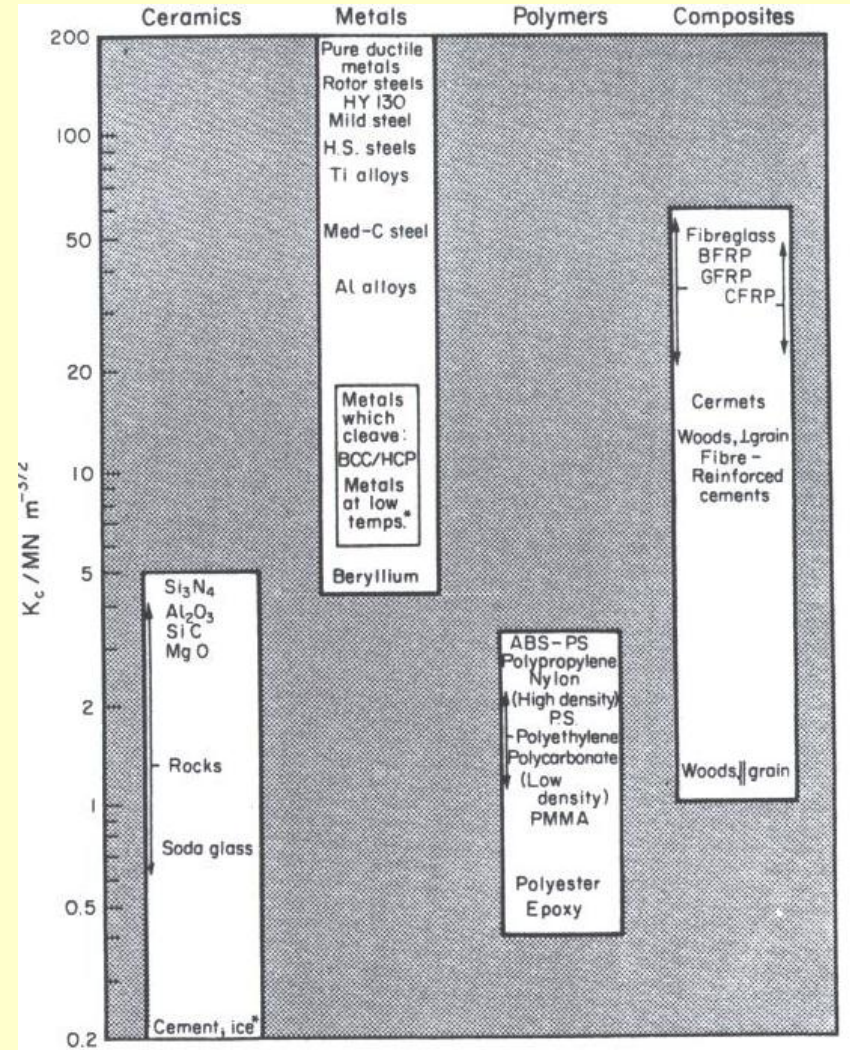
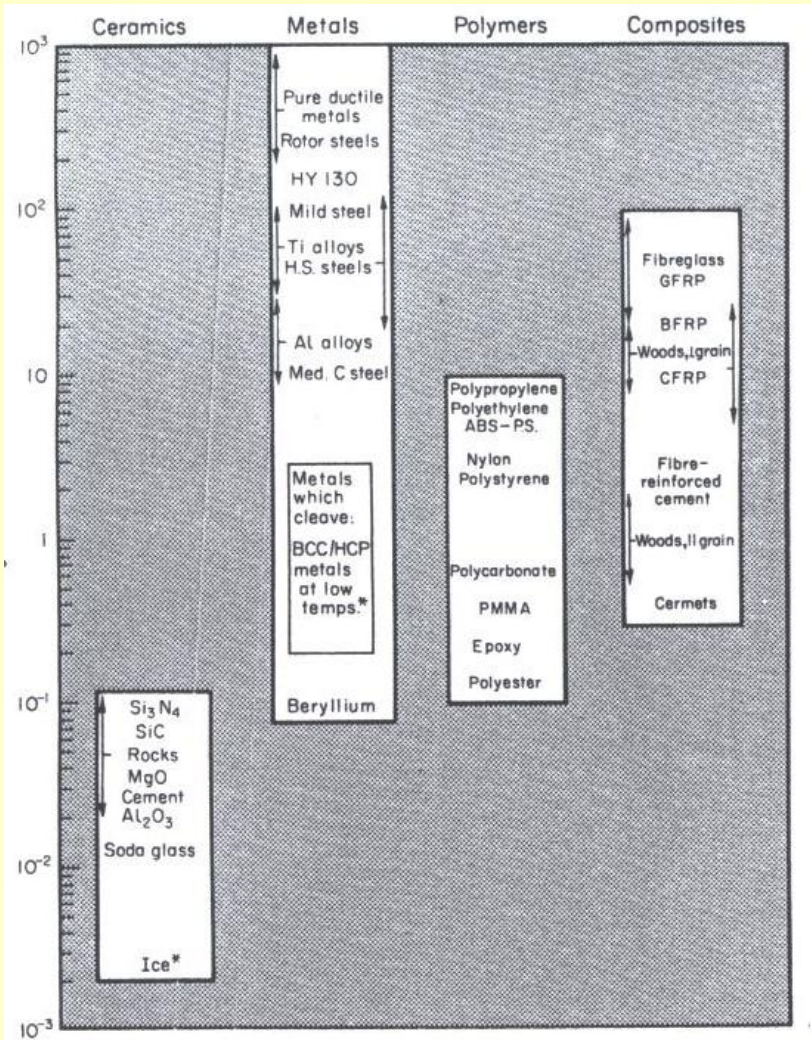
# Az instabil repedésterjedés megindulásakor

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

Energia elnyelési  
paraméter

# Törésmechanikai mérőszámok

## $G_{IC}$ és $K_{IC}$



# Alkalmazás feltétele

a próbatestben, alkatrészben az alakváltozás túlnyomórészt rugalmas legyen

A legtöbb fém esetében ezek a feltételek csak nagy anyagvastagságoknál teljesülnek.

# *A törésmechanika alkalmazása 1*

- **1. Kontinuummechanikai repedésmodellekkel leírni a valóságos szerkezeti elemek alakváltozását, feszültségeloszlását (számítással vagy kísérletileg)**

**igénybevétel jellemzése**

# *A törésmechanika alkalmazása 2*

- **2. Fémfizikai alapokon meghatározott törési kritériumok alapján mérőszámokat definiálni, amelyek segítségével - a terhelés módjától, az anyag állapotától függően meg lehet határozni a kritikus állapotot**

**igénybevehetőség vagy terhelhetőség jellemzése**

- **3. A terhelés és a terhelhetőség egybevetéséből a törési biztonság és az üzemidő megadása**

# *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.)

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

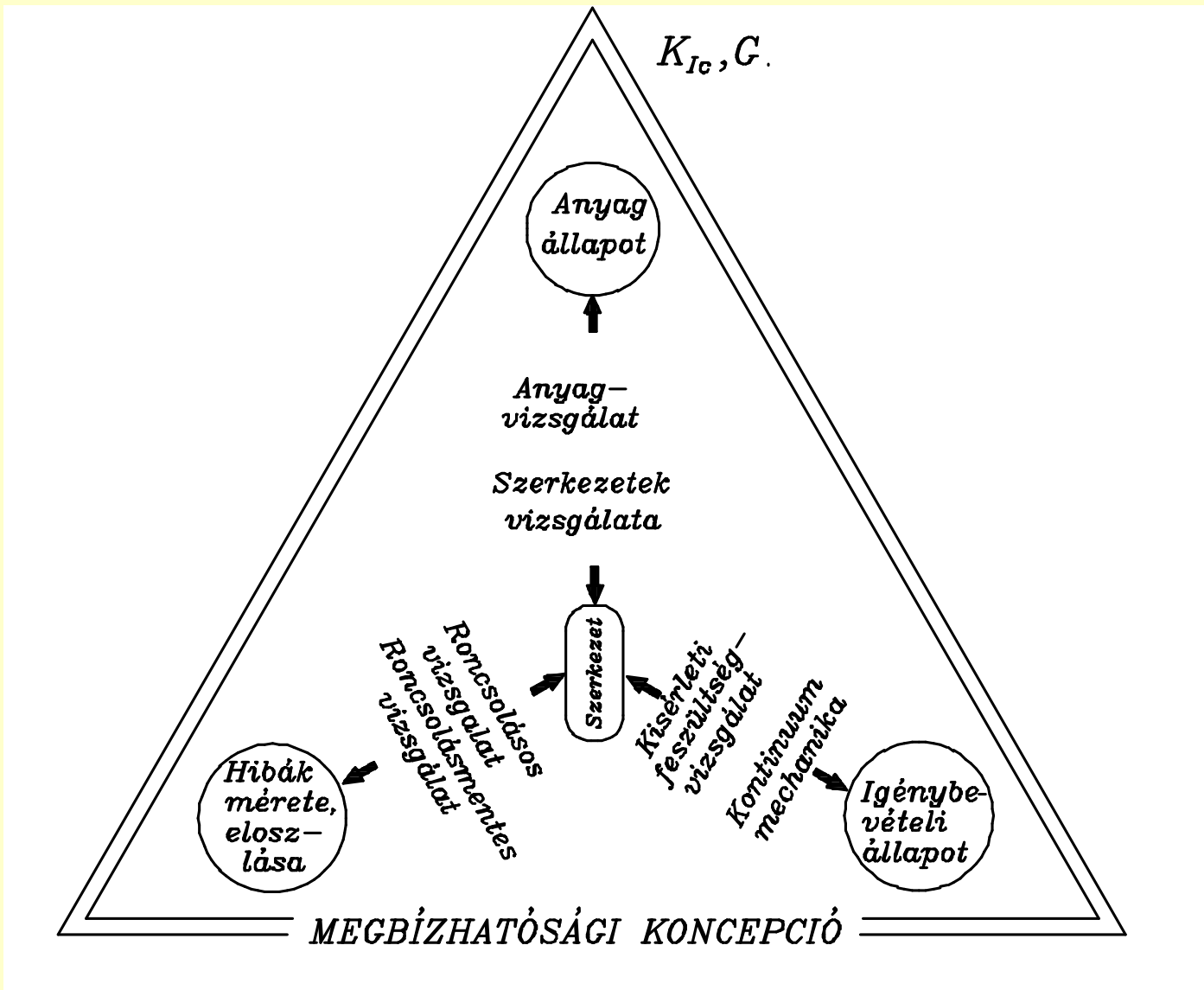
Ennek alapján

⇒ vagy a kritikus feszültséget

⇒ vagy a kritikus repedéshosszúságot keressük



# A törésmechanika alkalmazása



# a tényezők között figyelembe kell venni a valószínűséget is!

