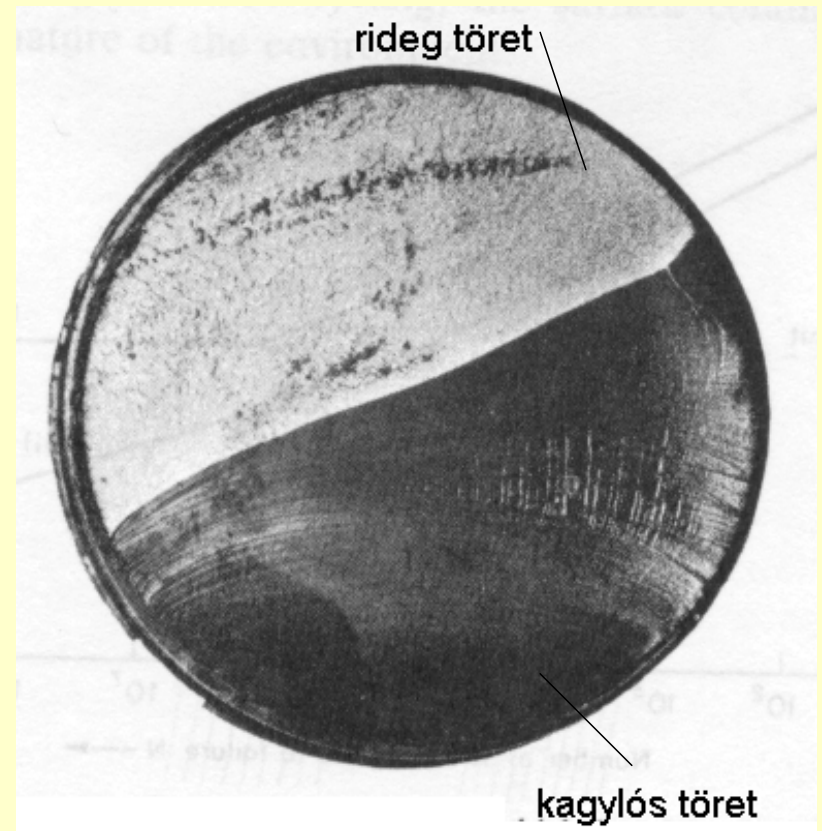


# Ismételt igénybevétellel szembeni ellenállás

- Azt a jelenséget, amikor egy anyag az ismételt igénybevételek során bevitt, halmozódó károsodások hatására a folyáshatárnál kisebb terhelés esetén eltörik **kifáradásnak** nevezzük.
- Az anyag kifáradása **törésként jelentkezik**, de a kifáradás **folyamata** legszorosabban a **képlékeny alakváltozással kapcsolatos**.
- **Nagyon lényeges, mert a törési káresetek kb. 70-80 %-a a kifáradással kapcsolatos. A járműveknél ez az arány több is lehet!**

# A fáradt töret jellege

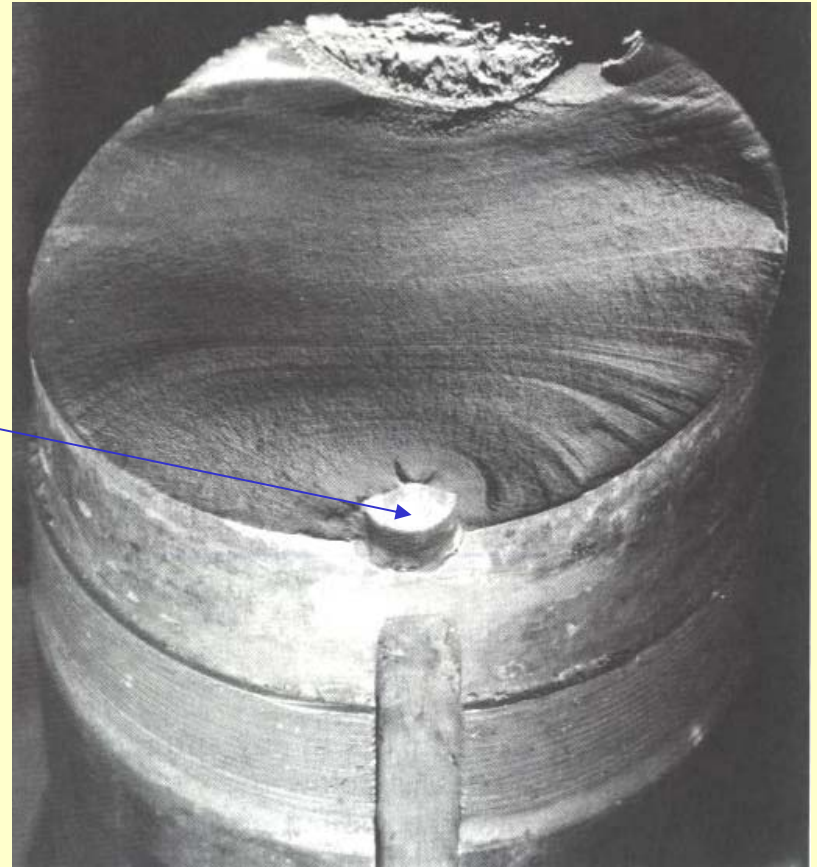
két részből, egy kagylós,  
barázdált és egy  
szemcsés ridegen tört  
részből áll



# Fáradt töret

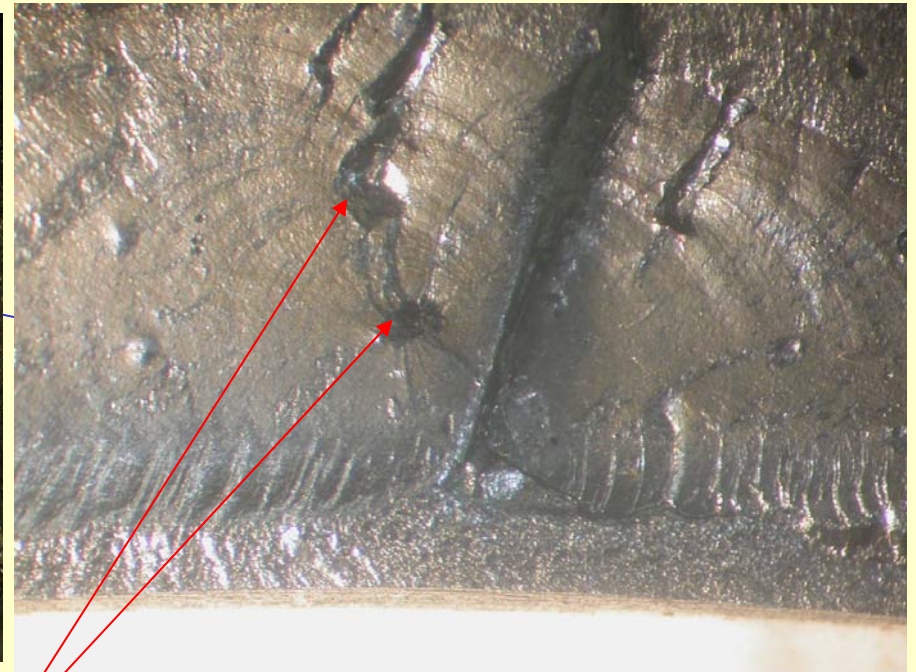
Jellegzetes fáradt töret forgattyús tengelyen

- A repedés a feszültséggyűjtő helytől indult. A ridegen tört rész relatíve kicsi.



# Fáradt töret

Belső anyaghibából kiinduló fáradt töret  
(tányérkerék fog)



A károsodás kiindulása

# A kifáradásnál három részfolyamatot különböztethetünk meg

⇒repedés keletkezés

⇒repedés terjedés (lassú)

⇒instabil repedés terjedés, törés

Az ismételt igénybevételnél a feszültség  
általában kisebb, mint a folyáshatár

$$\sigma < R_{p0,2}$$

# A kifáradás folyamata

$$\sigma < R_{p0,2}$$

- tehát a darab makroszkóposan tekintve képlékeny alakváltozást nem szenvedhet.
- De mikroszkópos szinten! Fémes anyagaink általában nem homogének és izotrópok. Változik az egyes kristallitok orientációja, kiválások, nem fémes zárványok, anyaghibák találhatóak. Az anyagban igen sok kristallit van és ezek egyéni módon reagálnak a terhelésre.

# A kifáradás folyamata

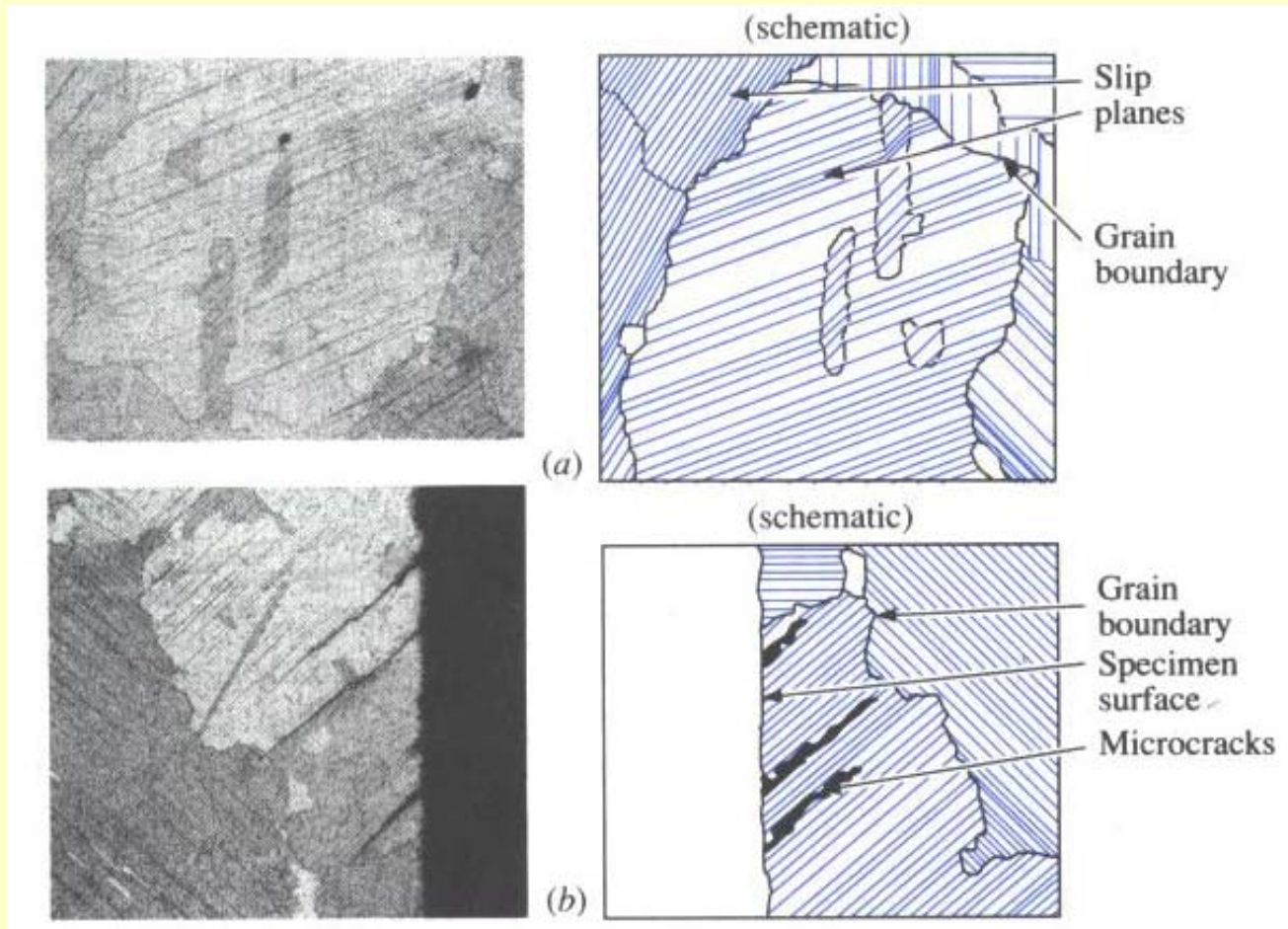
## I. szakasz

A **kedvező helyzetű kristallitokban** a folyáshatárnál lényegesen kisebb feszültség is megindíthatja a maradó alakváltozást. Ez a rugalmas alakváltozással összemérhető nagyságú, 0,1 - 0,01 %. Így a kedvező helyzetű kristallitokban **csúszósávok** alakulnak ki.

**Ez a jelenség legkönnyebben a felületen jöhet létre. Ezért a kifáradás szempontjából leglényegesebb a felület!**



# Csúszósávok



a. csúszósávok nikkel ötvözetben N 200x

# A kifáradás folyamata

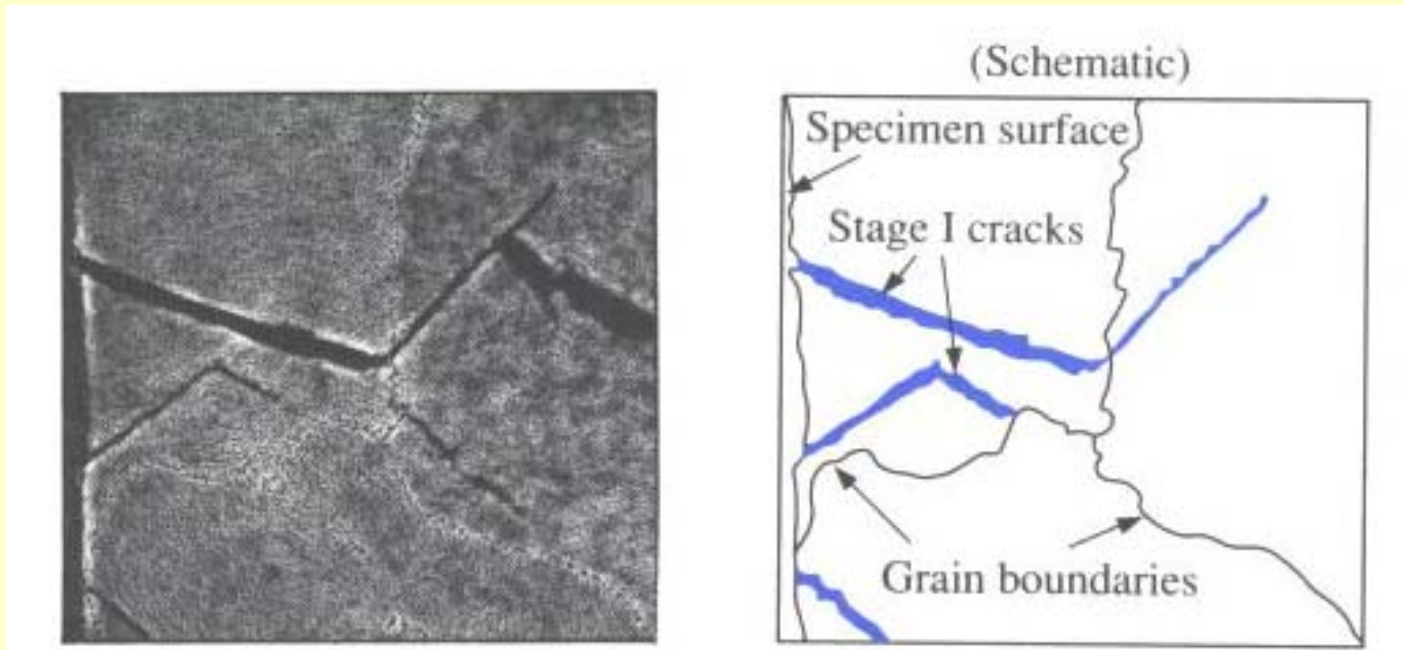
## I. szakasz

A csúszósávok vastagsága, távolsága, száma az igénybevételtől függ. Statikus igénybevételnél a csúszósávok a terhelés növekedésével szélesednek, ismételt igénybevétel esetén azonban szélességük nem változik és az alakváltozás ezeken belül zajlik.

# A kifáradás folyamata

## II. szakasz, a repedés terjedése

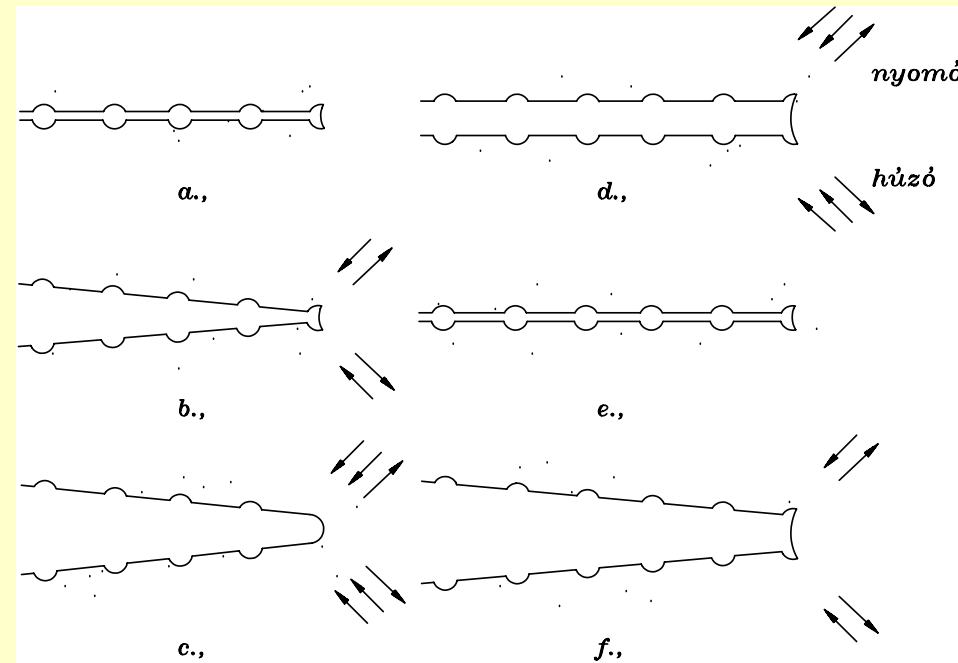
Ha a szomszédos krisztallit is kedvező helyzetű, a szubmikroszkópos repedés terjed.



# A kifáradás folyamata II. szakasz, a repedés terjedése

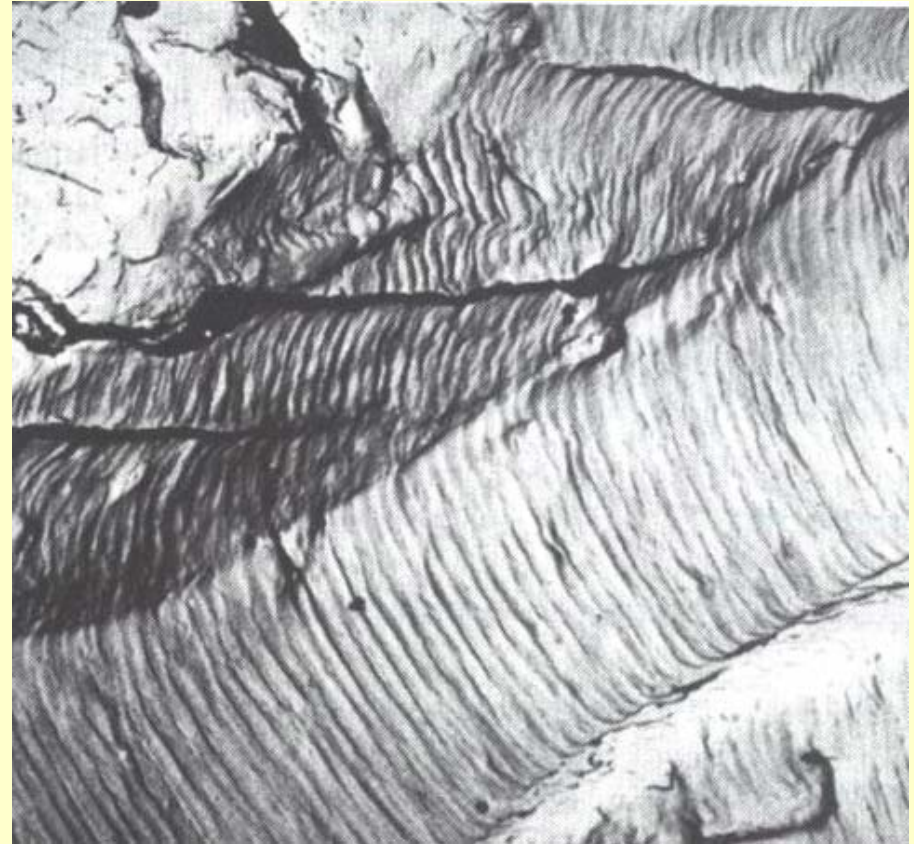
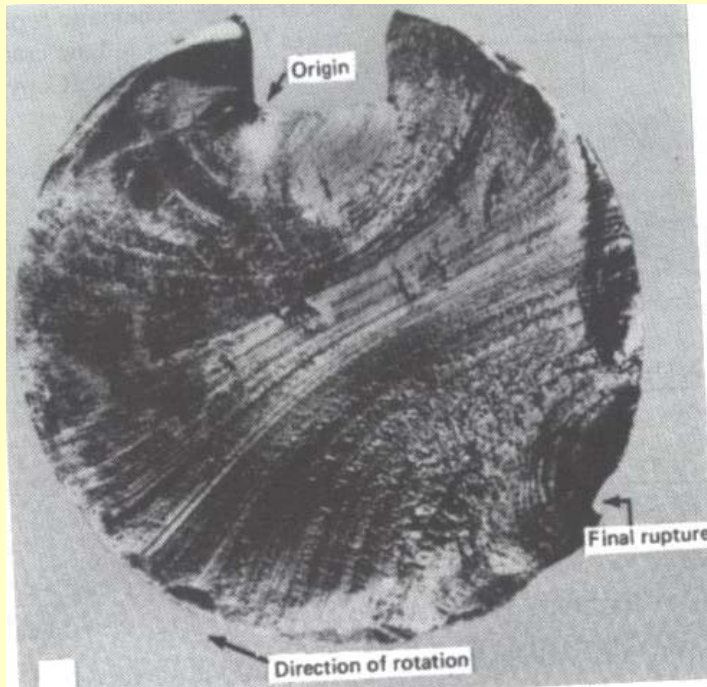
Ha a mikroszkópos repedés bizonyos nagyságot elér, makroszkópos repedéssé válik, és növekszik.

A növekedés a húzó igénybevétel szakaszában jön létre!

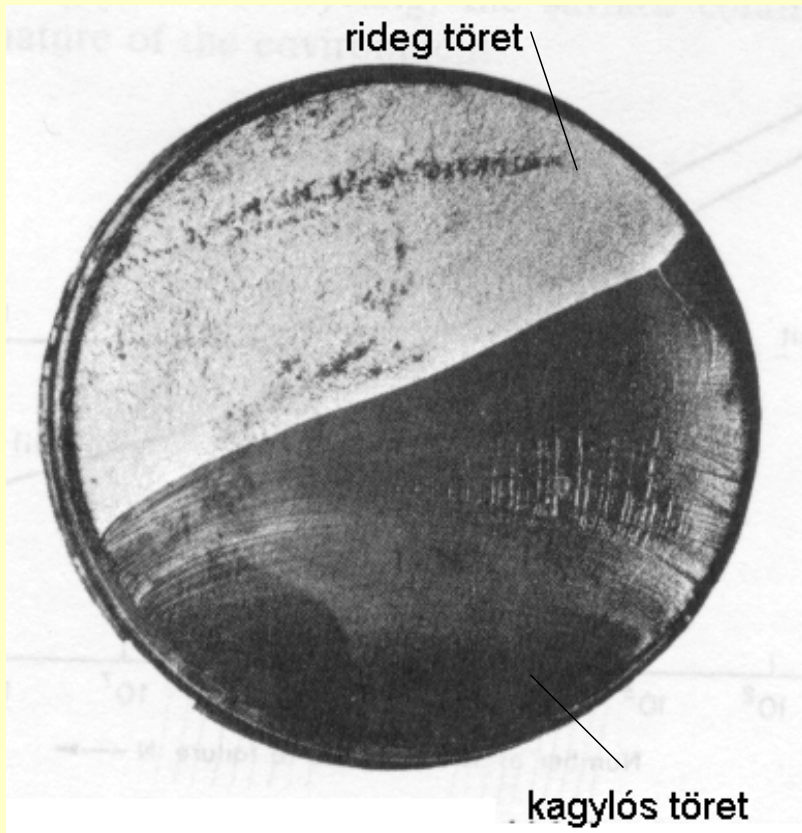


# A kifáradás folyamata II. szakasz, a repedés terjedése

A repedés ciklusonként növekszik, ami **barázdák kialakulásához vezet.**



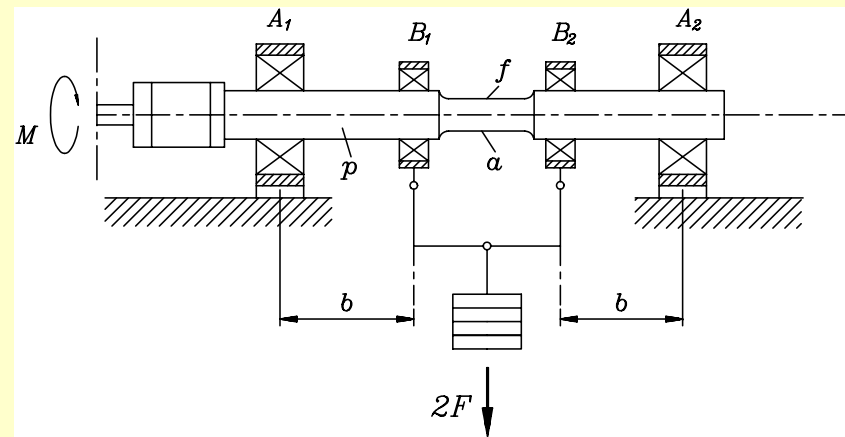
# A kifáradás harmadik szakasza



Ha a terjedő repedés nagysága egy anyagra jellemző kritikus méretet elér az anyag ridegtöréssel szétválk

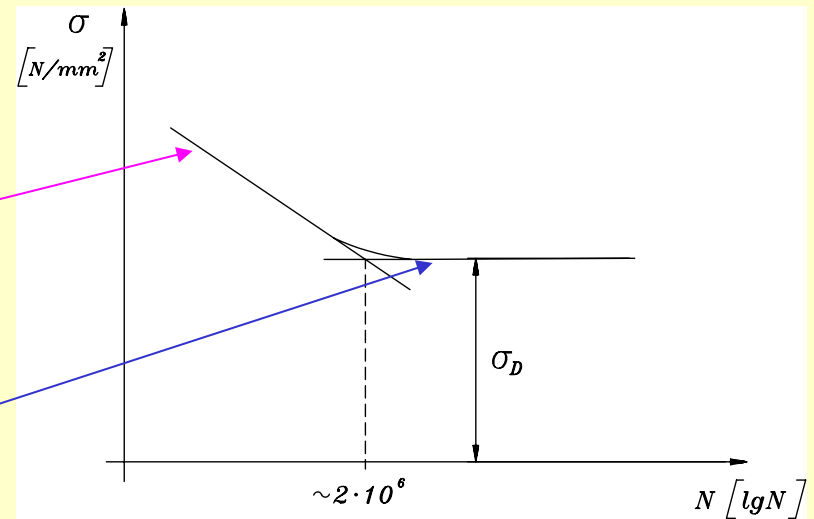
# Kifáradás vizsgálata

A jelenségre a múlt század második felében vasúti tengelyek hosszabb idejű üzemelése után bekövetkező jellegzetes törése hívta fel a figyelmet. A jelenséget Wöhler a vasúti tengelyek igénybevételének modellezésével vizsgálata.



# Acélok Wöhler görbéje

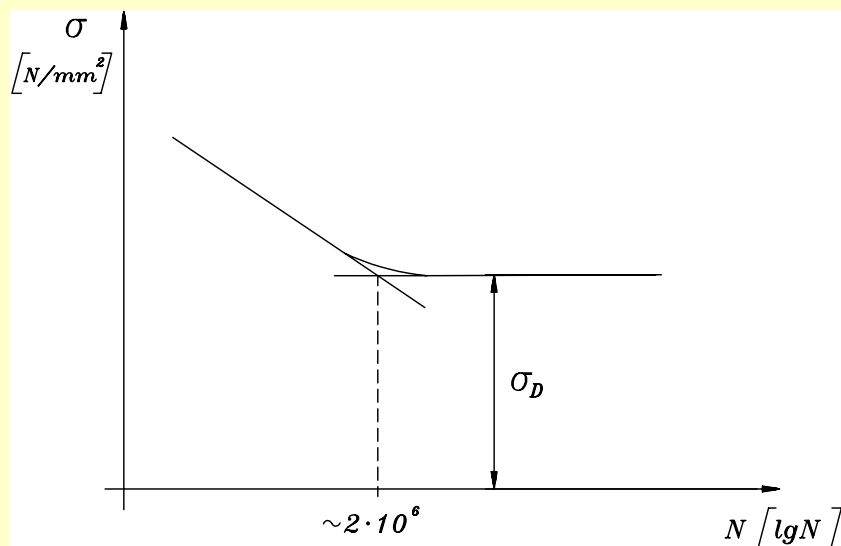
A Wöhler görbe két jól elkülöníthető szakaszból áll. Az első ferde, meredeken eső szakaszt **élettartam szakasznak**, a vízszintes részt, pedig **kifáradási szakasznak** nevezzük. A két egyenes acéloknál  $2 - 5 \cdot 10^6$  igénybevételnél metszi egymást.





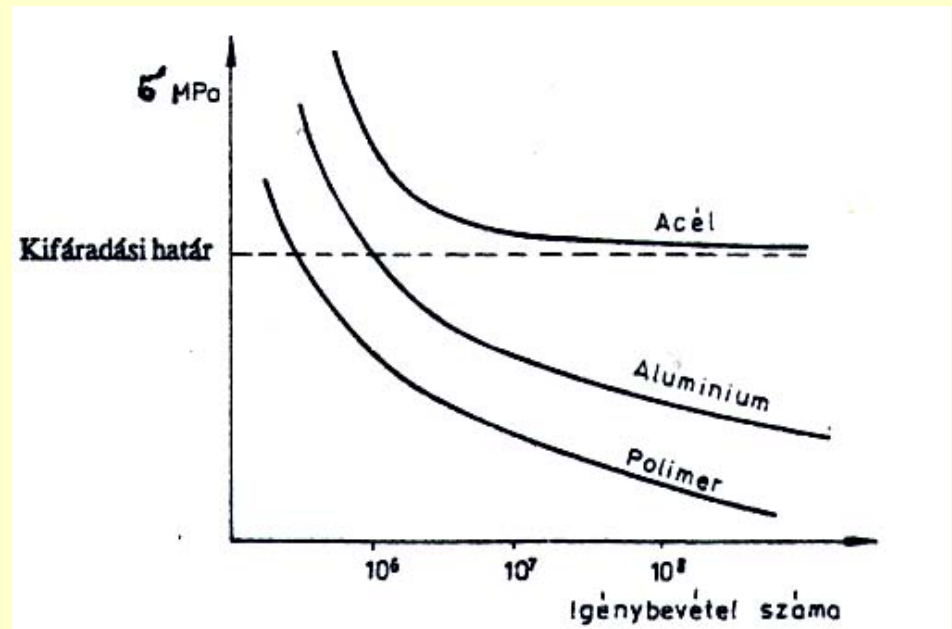
# Wöhler görbe

A görbe aszimptotikusan közelít egy értékhez, így a terhelő feszültség csökkentésével, az acélokra meghatározható egy olyan jellemző feszültség, amellyel az akár végtelen sokszor terhelhető anélkül, hogy eltörne. Ezt a feszültséget az acél **kifáradási határának** nevezzük. Jele:  $\sigma_D$ .



# Meghatározható-e minden anyagnál kifáradási határ?

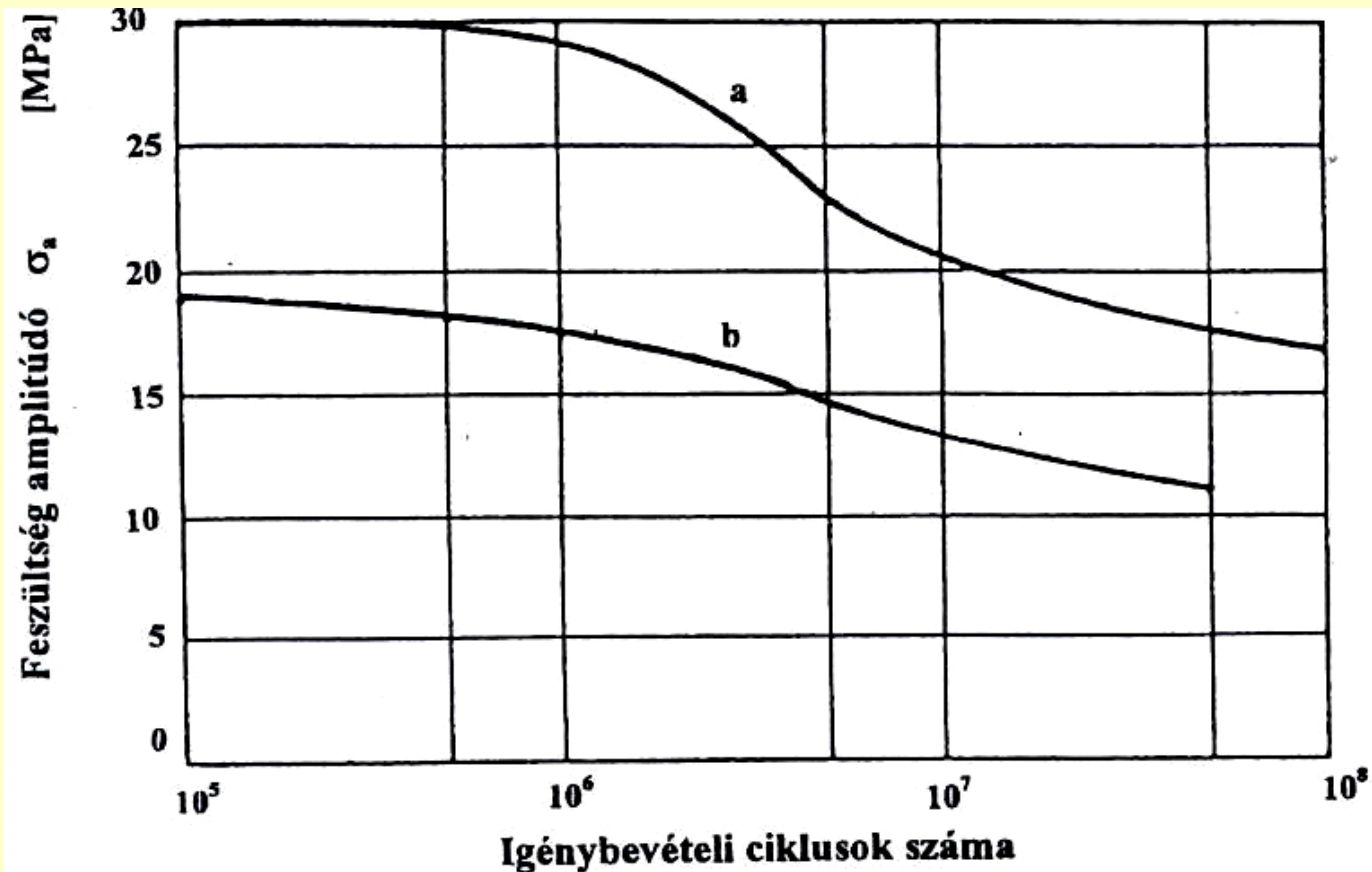
**nem minden anyagnak van kifáradási határa.**  
Alumínium ötvözetek, saválló acélok, nagyszilárdságú acélok esetében a Wöhler görbe második szakasza nem vízszintes, így kifáradási határ nem értelmezhető.



# A szerkezeti anyagok viselkedése ismételt igénybevétel során

- **Polimerek**, a fémekhez hasonló, bár az anyagban zajló mikroszkópos folyamatok mások
- **kerámiák**, ridegek, esetükben kifáradásról nem beszélhetünk

# Ismételt igénybevétel, fárasztás



POM-C Wöhler görbéje  
a: húzó/nyomó lengő feszültség ( $\sigma_m = 0$ )  
b: lüktető húzófeszültség ( $\sigma_m = \sigma_a$ )

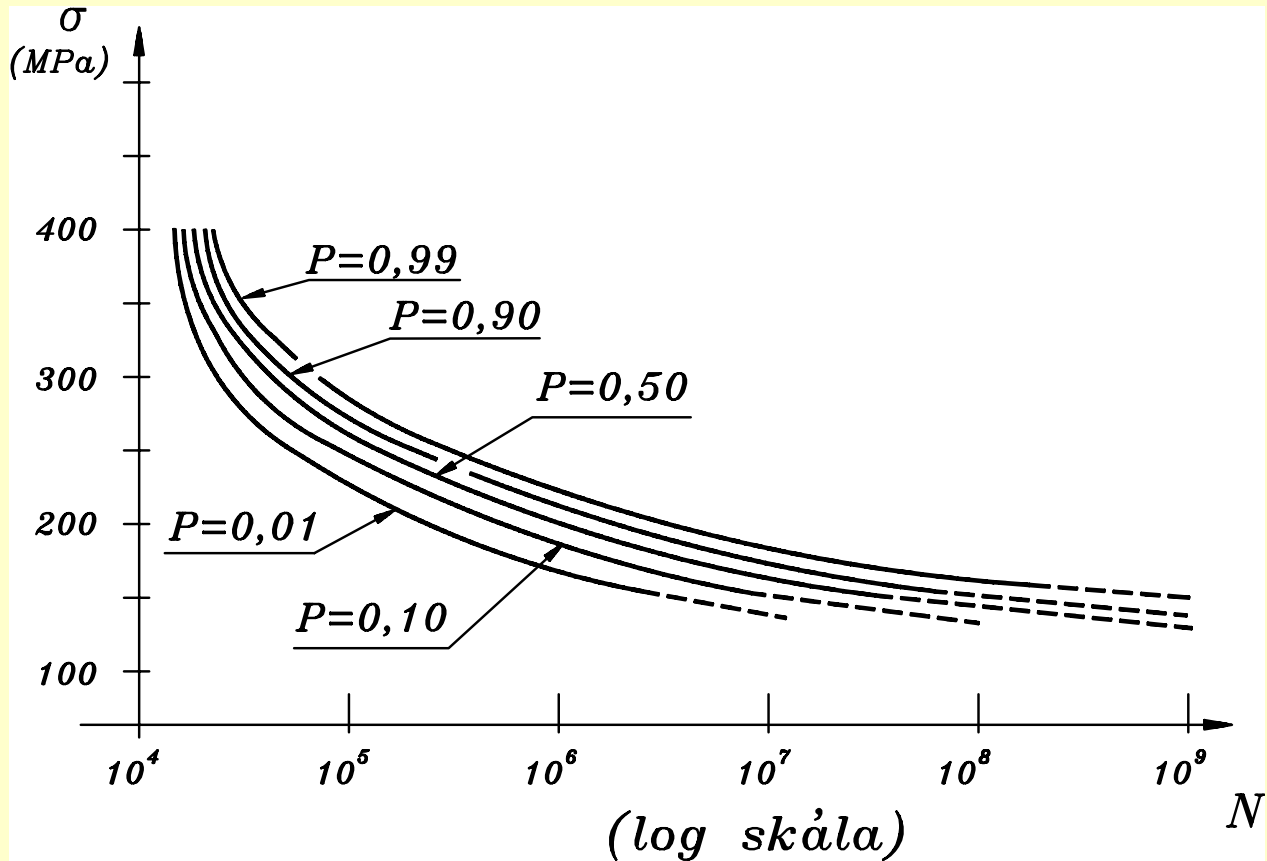
# A fárasztó vizsgálatokkal meghatározott eredmények értékelése, használata

- A kifáradás sztohasztikus folyamat, nem lehet átlagolni! Az egy feszültség szinten végzett mérés nem a törést okozó igénybevételi számot, csak annak egy lehetséges értékét adja meg.
- Sok a véletlen tényező

# Mi a megoldás?

A mérési eredményeket matematikai statisztikai módszerekkel kiértékelve **adott törési illetve túlélési valószínűséggel** adhatjuk meg az adott terheléshez tartozó ismétlési számot. A matematikai statisztikai kiértékeléshez sok, feszültség szintenként legalább 10 próbatest szükséges.

# Az eredmények megadása



# A kifáradást befolyásoló tényezők

⇒ a terheléstől, külső körülményektől függő  
tényezők

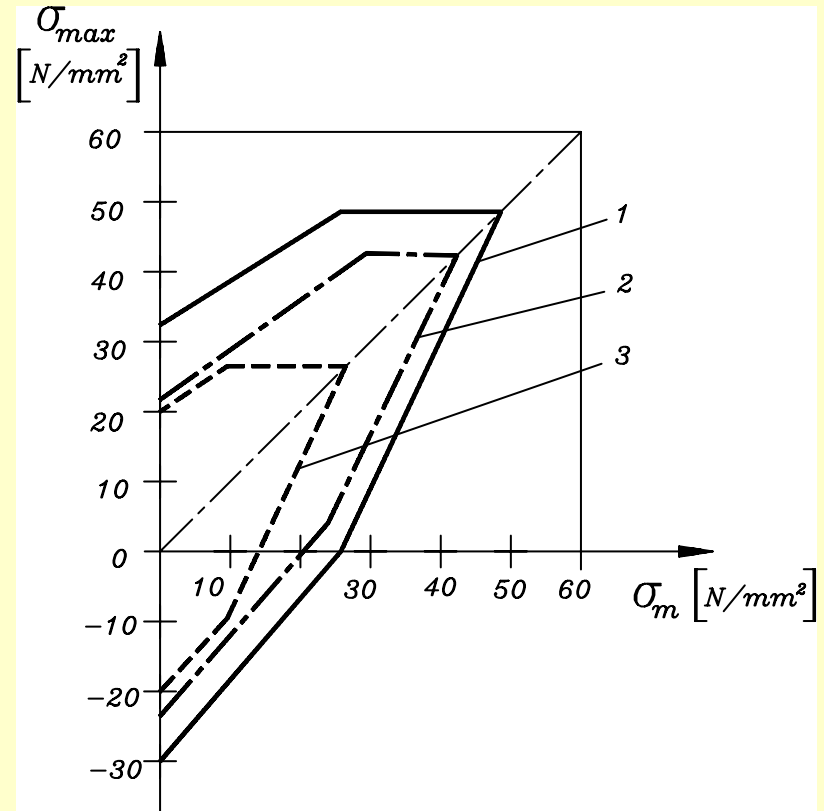
⇒ a darabtól függő tényezők



# A z igénybevétel típusának hatása

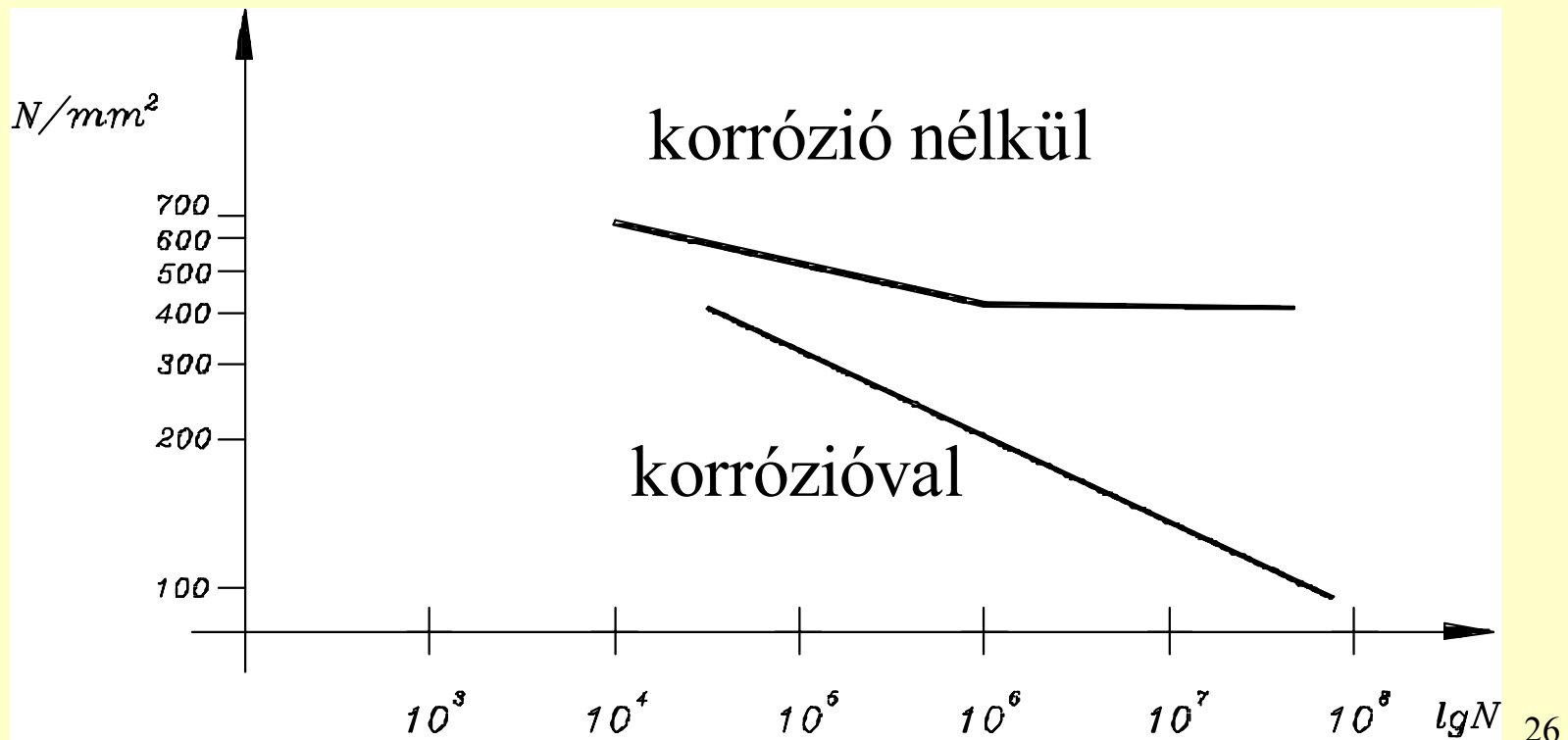
**Az igénybevétel típusának**  
a hatása fontos, mert  
jelentős eltérést  
eredményez.

az anyag kifáradási határa a  
legkedvezőbb váltakozó  
hajlító (1), kisebb húzó-  
nyomó (2) és még kisebb  
váltakozó csavarás (3)  
esetén..



# Korróziós környezet

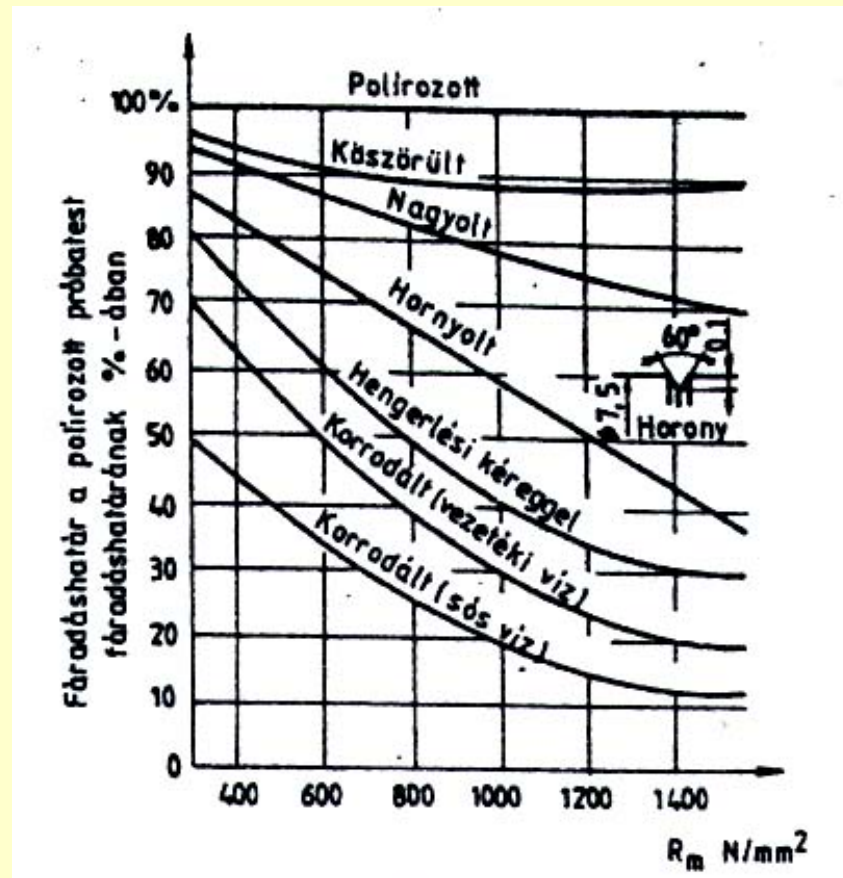
A korrozív közeg a felületet károsítja, ezért jelentősen befolyásolja a kifáradást is



# A darabtól függő befolyásoló tényezők

## A darab felülete

- A fáradt törés csírája a **felület**. A darab felületén lévő hibák, feszültség koncentrátorok elősegítik a darab kifáradását.
- **Fontos!** A felület rontó hatása a nagyobb szilárdságú anyagoknál erőteljesebb!



# A felület hatása

- A különböző **mechanikus felületi kezelések**, amelyek a darab felületének közelében nyomófeszültséget eredményeznek pl. a felület görgőzése, szemcseszórás, sörétezés stb. a kifáradási határt növelik. Szintén jelentősen javítják a fáradási tulajdonságokat a **felületi hőkezelések** pl. a betétedzés , de különösen a nagyon vékony, kemény felületi kérget biztosító nitridálás ill. nikotrálás.

# **Az anyag viselkedése dinamikus terhelés hatására**

## **A szívósság vizsgálata**

**Az anyagok lehetnek:**

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

# **Az anyag viselkedése dinamikus terhelés hatására**

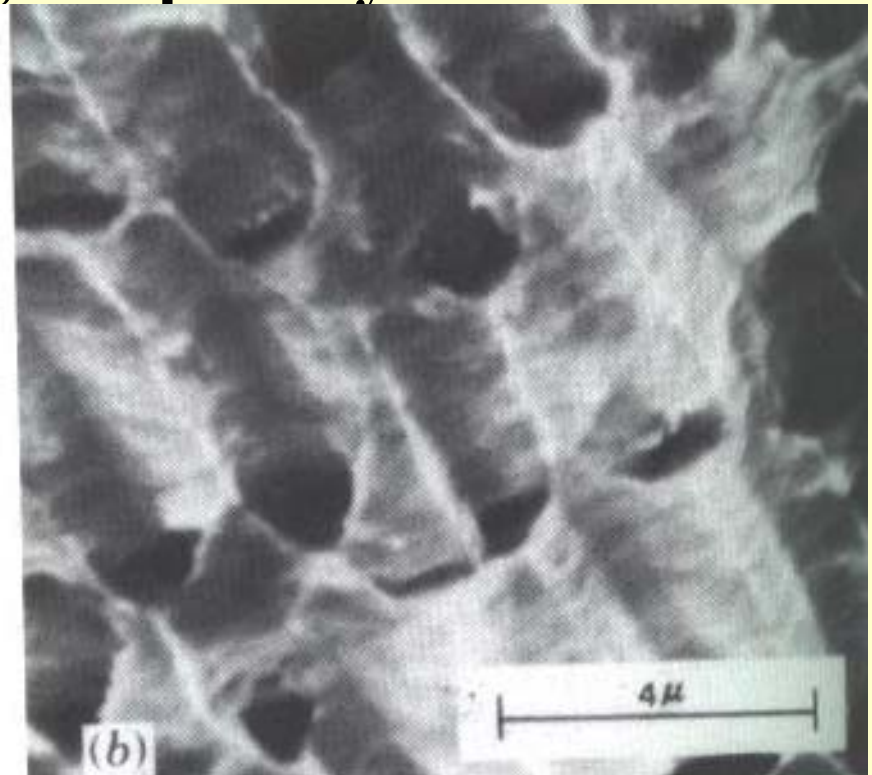
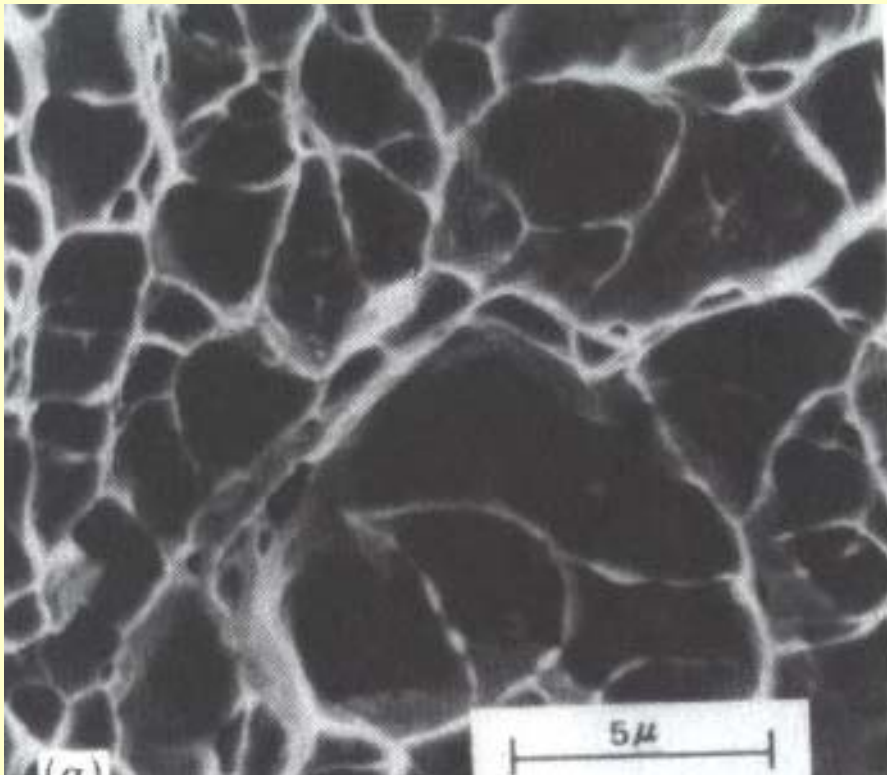
## **A szívósság vizsgálata**

**Az anyagok lehetnek:**

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

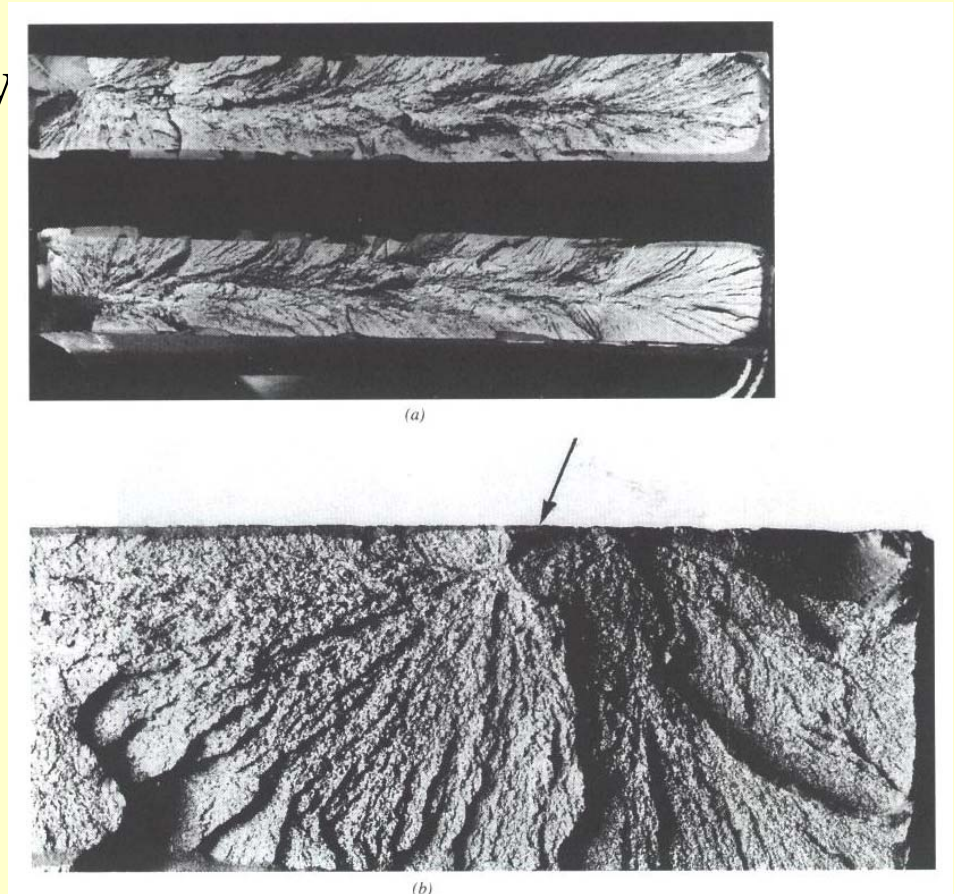
# Szívós vagy képlékeny anyag

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 1

**Rideg** törésre rendkívül hajlamosak a

- **Kovalens vagy ionos kötéssel rendelkező anyagok, (alacsony kristály szimmetria)**

**pl. 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 2

## 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 3

- **Vannak olyan anyagok, mint pl. az acélok, amelyek általában szívósak, de bizonyos körülmények között ridegen törhetnek.**

# Az állapot tényezők hatása az anyagok terheléssel szembeni viselkedésére

- a **hőmérséklet** csökkenése a rideg törést segíti elő, mert akadályozza a képlékeny alakváltozást.

# Az állapottényezők hatása az anyagok terheléssel szembeni viselkedésére

- **A feszültség állapot**
  - **három tengelyű nyomás** elősegíti a képlékeny alakváltozást.
  - a **három tengelyű húzás**, minden anyag esetében rideg törést eredményez. Ugyancsak a rideg törést segíti elő a többtengelyű feszültségi állapot, a bemetszések, a belső anyaghibák.

# Az állapottényezők hatása az anyagok terheléssel szembeni viselkedésére

- Az **igénybevétel sebességének** növelése bizonyos tartományon belül a ridegséget segíti elő, hiszen az alakváltozás a diszlokációk mozgása, és ahhoz idő kell.
- Nagyon nagy alakítási sebességek esetén a fémek képlékenyen viselkednek.



# **Szívós vagy rideg?**

**A szívósság vagy ridegtöréssel szembeni  
ellenállás vizsgálata**

# 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
- Lánchíd a saját súlyuk alatt leszakadtak az elemek

# Ridegtörési esetek

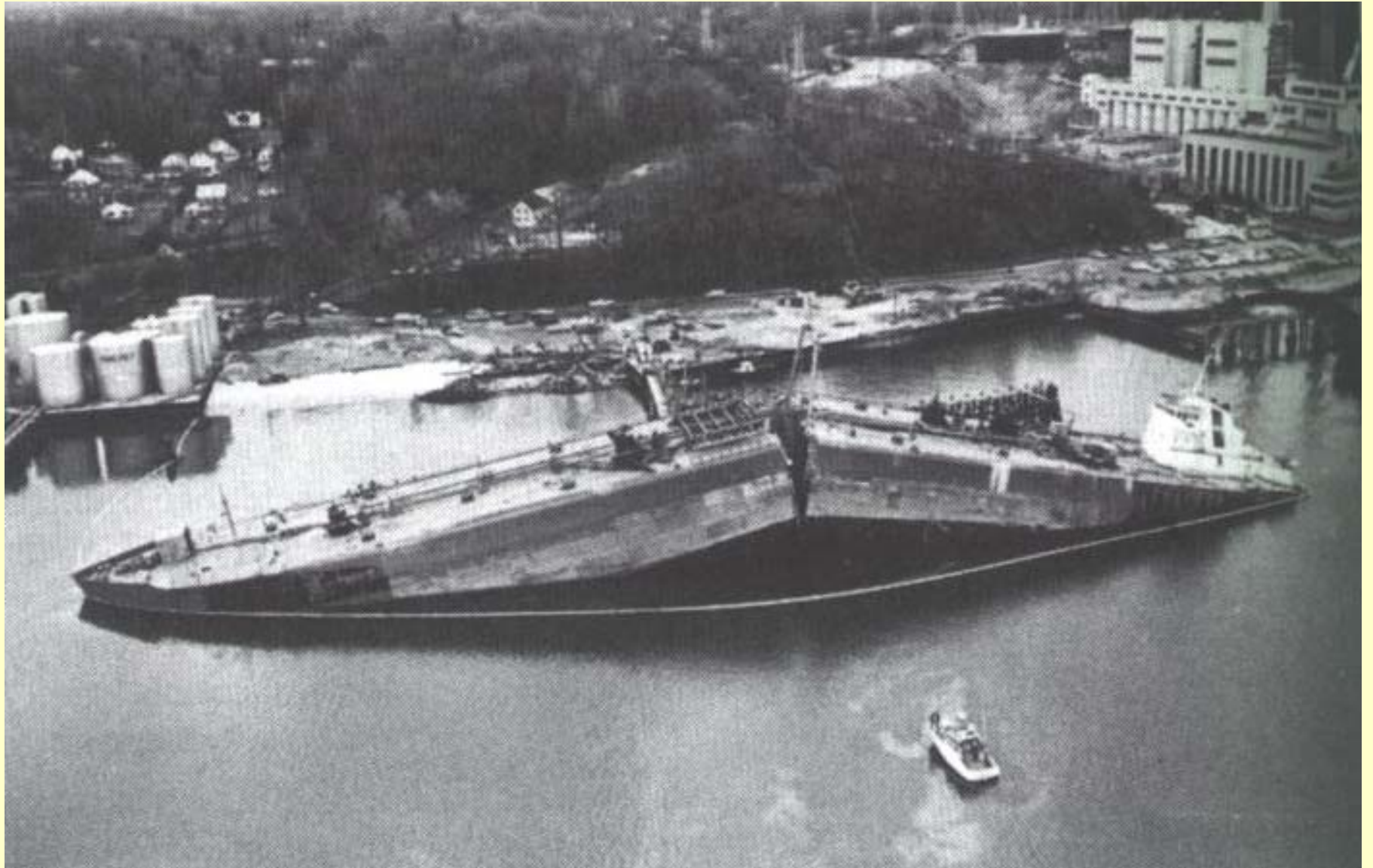
## Tartályok

- **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.**



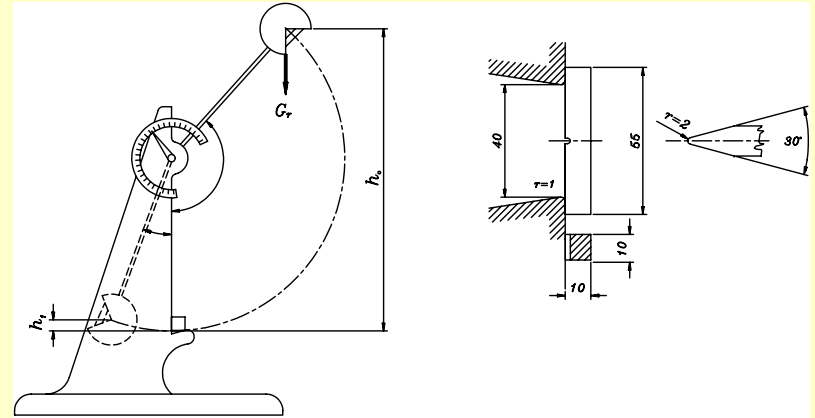
# A ridegtöréssel szembeni ellenállás vizsgálata

- **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

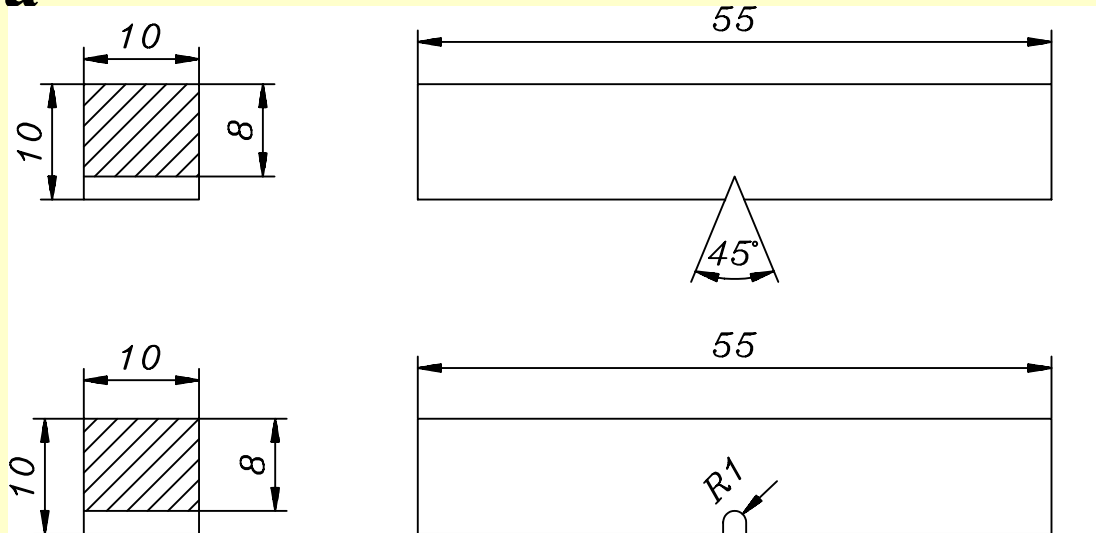
## Charpy féle ütővizsgálat

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

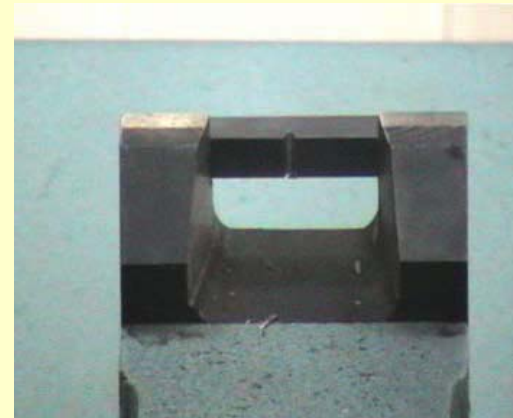
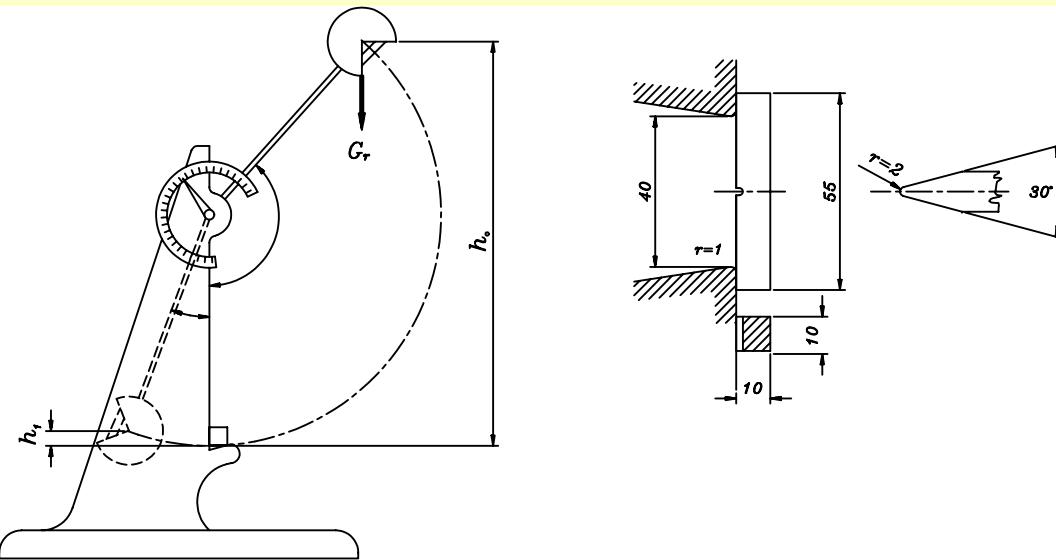


# Charpy vizsgálat

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



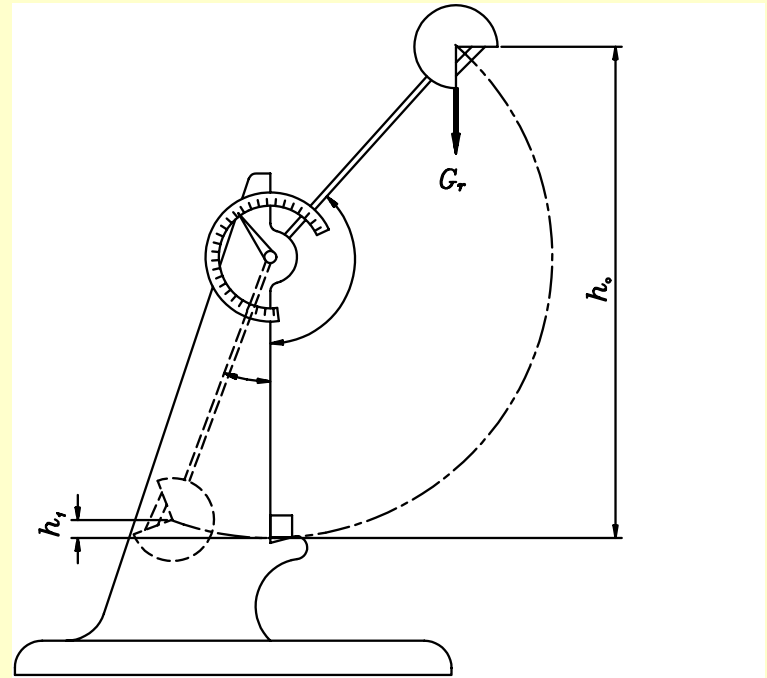
# Charpy vizsgálat



# Charpy vizsgálat

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

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



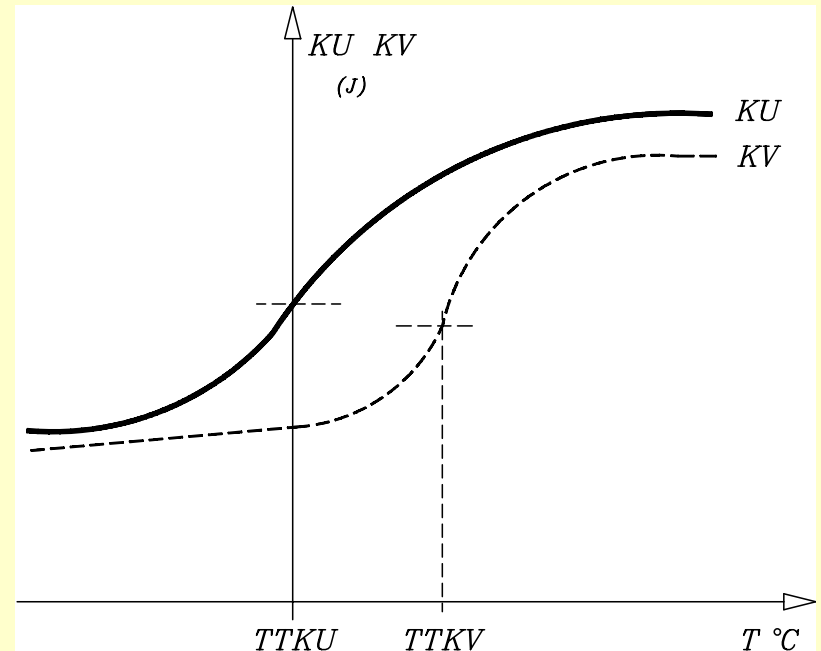
# Mitől függ az ütőmunka?

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

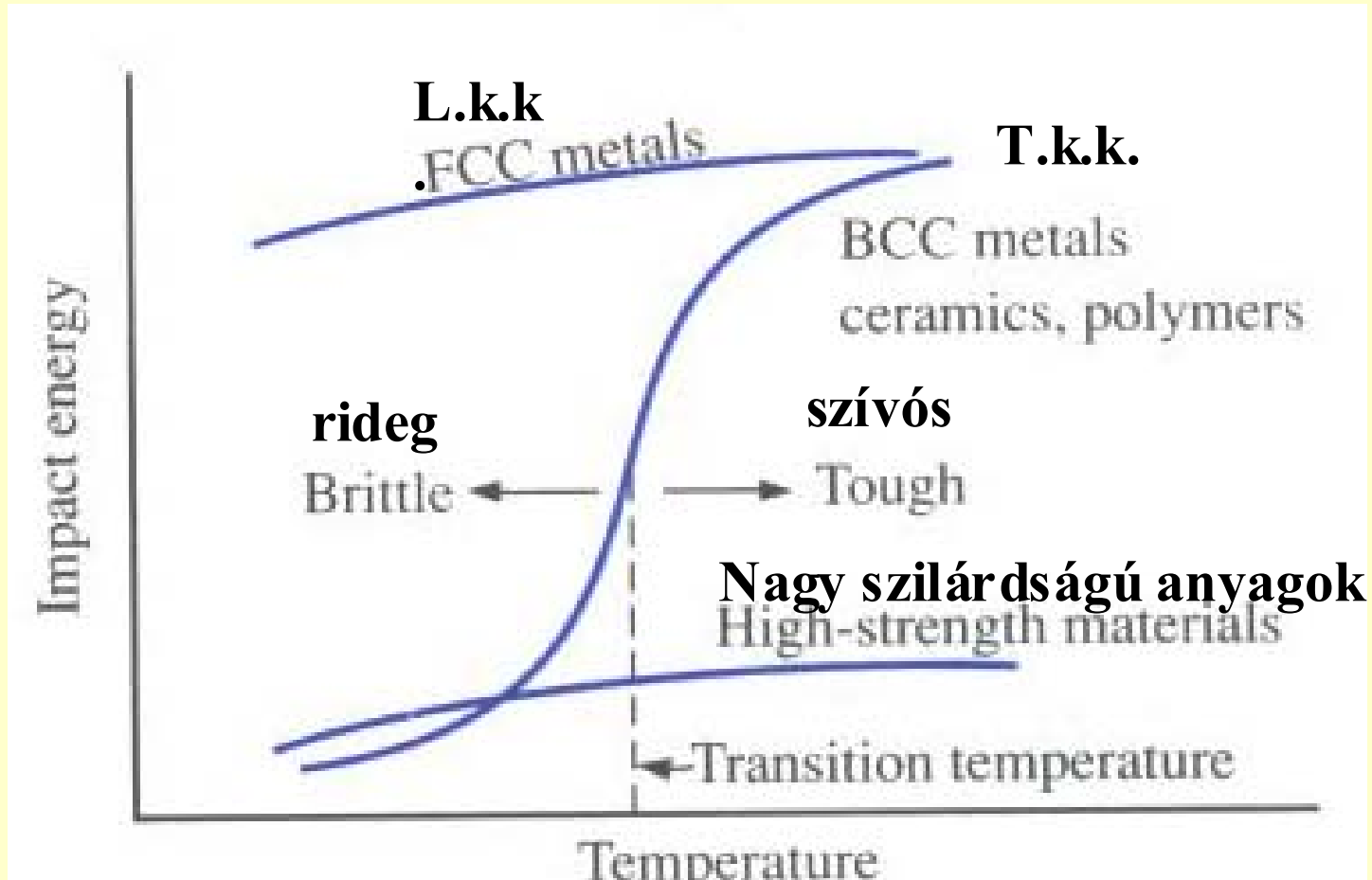
**$KV < KU$  illetve  $KCV < KCU$**

# Mitől függ az ütőmunka?

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



# KV ütőmunka különböző anyagoknál





# 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.

# Az anyagok szívósságának vizsgálata

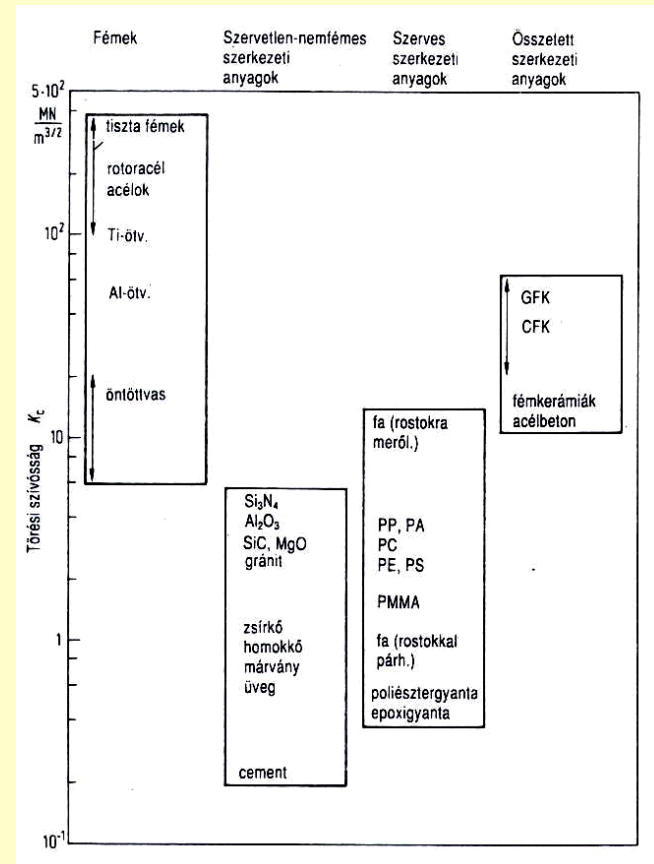
## Törésmechanika

- A vizsgálatokkal olyan, **méretezésre is alkalmas anyagjellemzőket** ( $K_{IC}$  és  $COD$ ,  $G_{IC}$ ) határozhatunk meg, amelyek a külső terhelés és a szerkezetben megengedhető hibaméret között állítanak fel összefüggést, és alkalmasak annak eldöntésére, hogy adott anyagból, adott hibamérettel rendelkező szerkezet adott terhelés mellett ridegen törik-e.

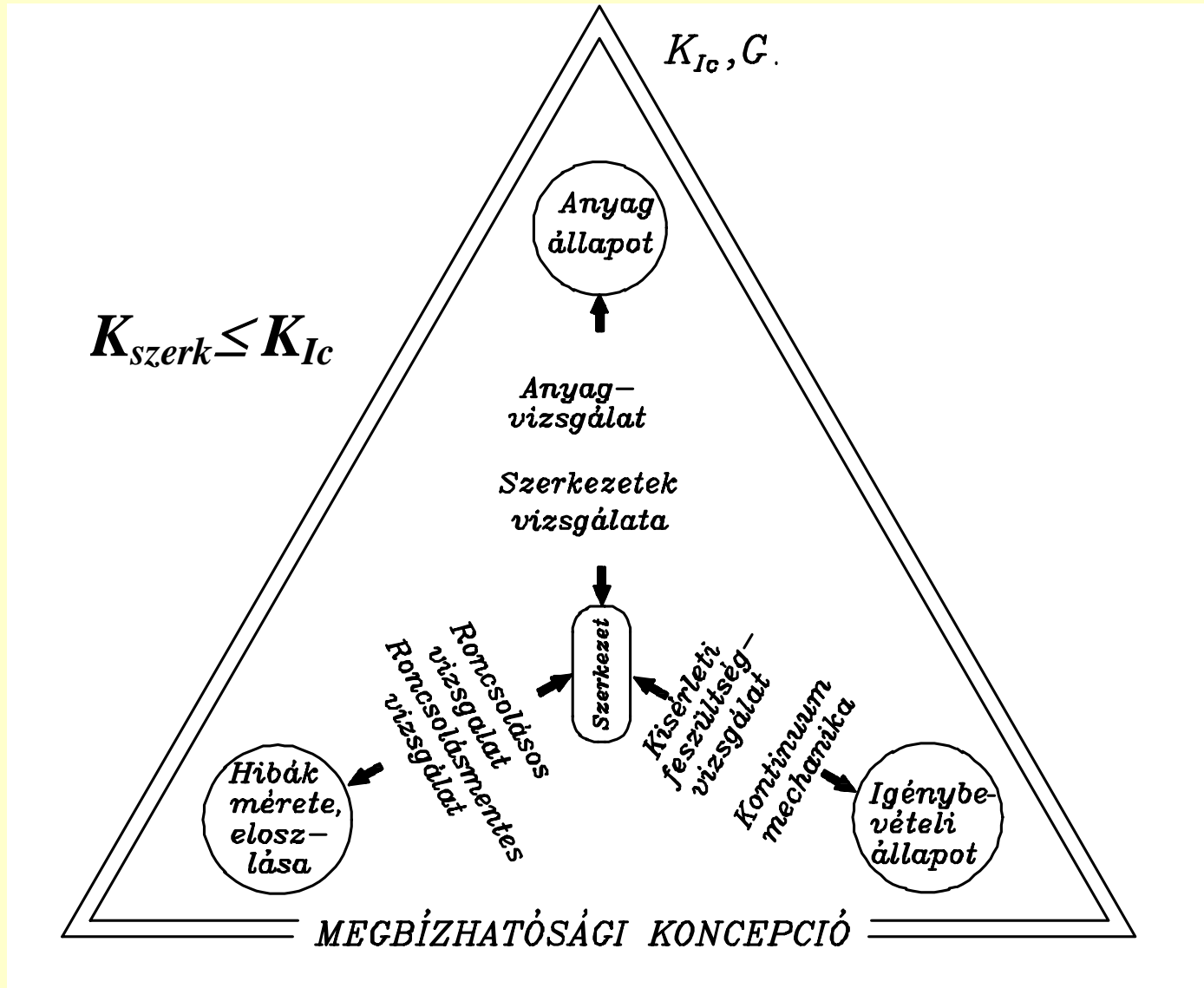
# Fajlagos törési szívósság $K_{Ic}$

$K_{Ic}$

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



# A törésmechanika alkalmazása



# A hibaméret és az előfordulás, a kimutathatóság gyakoriságának kapcsolata

