

Anyagismeret

Mechanikai tulajdonságok és vizsgálatuk

Dr. Mészáros István Attila

1

Az előadás fő pontjai

- Bevezetés
- Az anyagvizsgálatról
- Rugalmas és képlékeny alakváltozás
- Egyszerű igénybevételek
- Szakítóvizsgálat és mérőszámai
- Ütvehajlító vizsgálat
- Állapotnyezők hatása
- Keménységmérési eljárások
- (Zömítő-, hajlító- és csavaróvizsgálat)

2

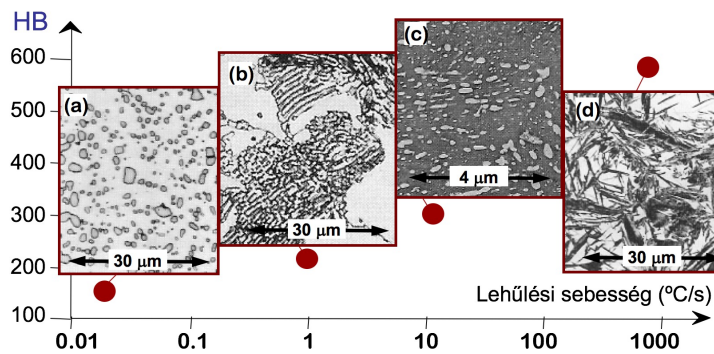
2

Anyagtulajdonság csoportok

- **Mechanikai** (terhelés és alakváltozás hatása)
- **Elektromos** (elektromos tér hatása)
- **Hőfizikai** (hőmérsékletmező hatása)
- **Mágneses** (mágneses tér hatása)
- **Optikai** (elektromágneses tér hatása)
- **Korróziós** (kémiai reaktivitás hatása)
- ...

Szerkezet, folyamat és tulajdonságok

- Az anyag egyes **tulajdonságai** függenek a **szerkezetétől** (szövet, hiba)
- **PI:** az acél keménységének és szerkezetének kapcsolata



- **Folyamat** is megváltoztathatja a **szerkezetet**;
PI.: Szerkezetváltozás a lehülési sebesség hatására

Intrinsic és extrinsic tulajdonságok

Intrinsic: szövet- és hibaszerkezet érzéketlen

Extrinsic: szövet- és hibaszerkezet érzékeny

Intrinsic tulajdonságok:

- Fajhő,
- Curie-hőmérséklet, telítési polarizáció
- Sűrűség,
- Rugalmassági modulus,
- ...

Extrinsic tulajdonságok:

- Mechanikai tulajdonságok (keménység, folyáshatár, szakítószilárdság ...)
- Vezetőképesség,
- Koercitív tér
-

5

Anyagvizsgálati eljárások 1.

Kémiai vizsgálat: Legfontosabb feladata az anyagok vegyi összetételének megállapítása, de ide tartoznak a korróziós vizsgálatok is.

Fizikai vizsgálatok: Célja az anyagok fizikai jellemzőinek, pl. villamos vezetőképesség, villamos ellenállás, mágneses tulajdonságok, hőtágulás, fajhő stb. meghatározása.

Képkalkotó vizsgálatok: optikai mikroszkópia, pásztázó elektronmikroszkópia, transzmissziós elektronmikroszkópia, STM, AFM, ...

- **Fémtani (metallográfiai) vizsgálatok:** Az anyagok szövetszerkezetének, szemcsenagyságának, a zárványosság mértékének stb. meghatározását jelenti.
- **Mikroszerkezet vizsgálatok:** Kristályszerkezet, hibaszerkezet (diszlokáció), szemcsehatárok, orientáció stb. vizsgálatai.

6

Anyagvizsgálati eljárások 2. (Mechanikai anyagvizsgálat)

Szilárdsági vizsgálatok: Egyszerű mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállás megállapítása a cél.

Technológiai vizsgálatok: Legtöbb esetben az adott feldolgozási technológiára való alkalmasság eldöntése a cél

Roncsolásmentes vizsgálatok

NDT: A darabban vagy felületén lévő folytonossági hiányok megállapítását tűzik ki célul.

NDE: Az anyag szerkezetében bekövetkezett változások nyomon követése.

7

Leggyakoribb roncsolásos anyagvizsgálati módszerek

szakítóvizsgálat

keménységmérés

Nyomó-, hajlító, csavaróvizsgálat

Kúszásvizsgálat

Ütve hajlító vizsgálat (Charpy)

Fárasztóvizsgálat

Hőfárasztóvizsgálat

Technológiai próbák

Korróziós vizsgálatok

8

Húzó és nyomó igénybevétel

Alakváltozás

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

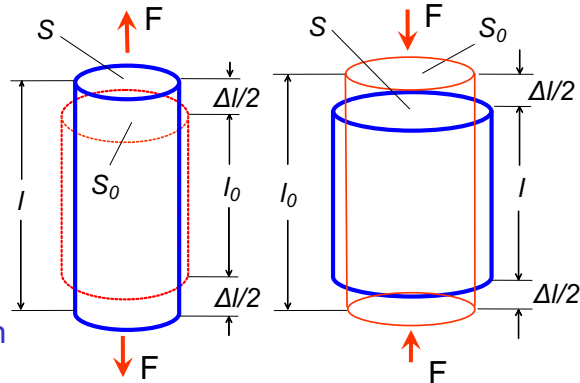
Feszültség

$$\sigma = \frac{F}{S} \approx \frac{F}{S_0}$$

Rugalmas állapotban

$$\sigma = E \varepsilon$$

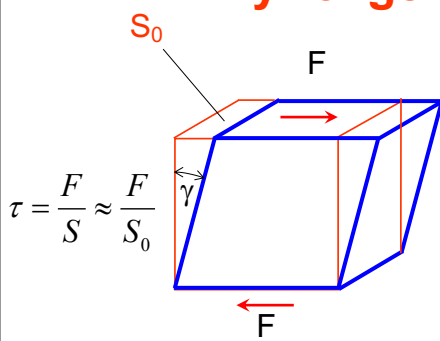
(Hooke-törvény)



Húzás

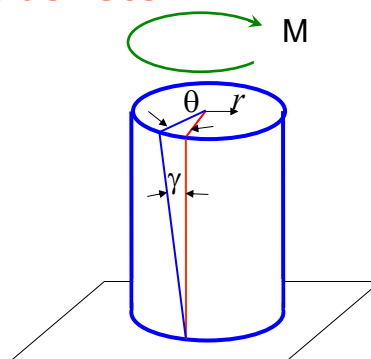
Nyomás

Nyíró igénybevétel



$$\tau = \frac{F}{S} \approx \frac{F}{S_0}$$

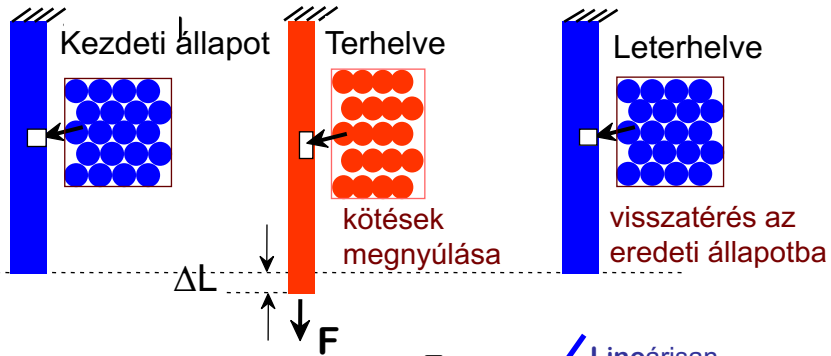
Egyszerű nyírás



Csavarás

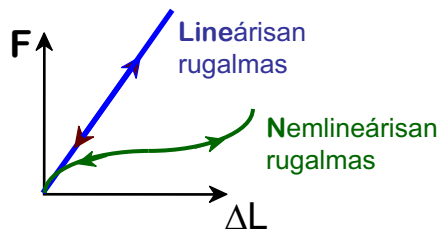
Rugalmas állapotban

$$\tau = G\gamma \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$



Rugalmas = reverzibilis

Rugalmas alakváltozásnál a térfogat **nem** állandó.



- Rugalmassági modulusz: E (Young-modulusz)

- Hooke-törvény:

$$\sigma = E \varepsilon$$

- Poisson-tényező, ν :

$$\nu = -\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon}$$

fémek: $\nu \sim 0,33$

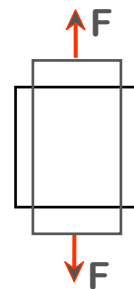
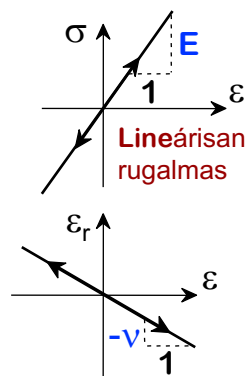
kerámiák: $\nu \sim 0,25$

polimerek: $\nu \sim 0,40$

Egységek:

E : [GPa] vagy [MPa]

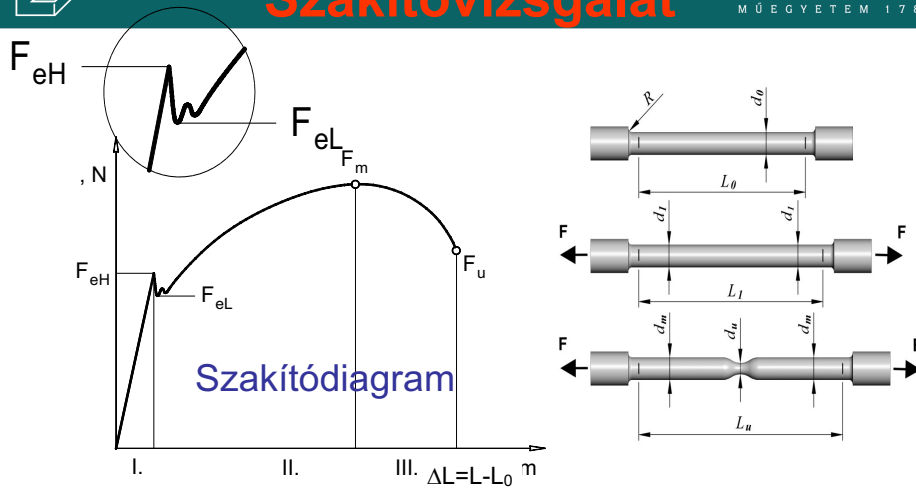
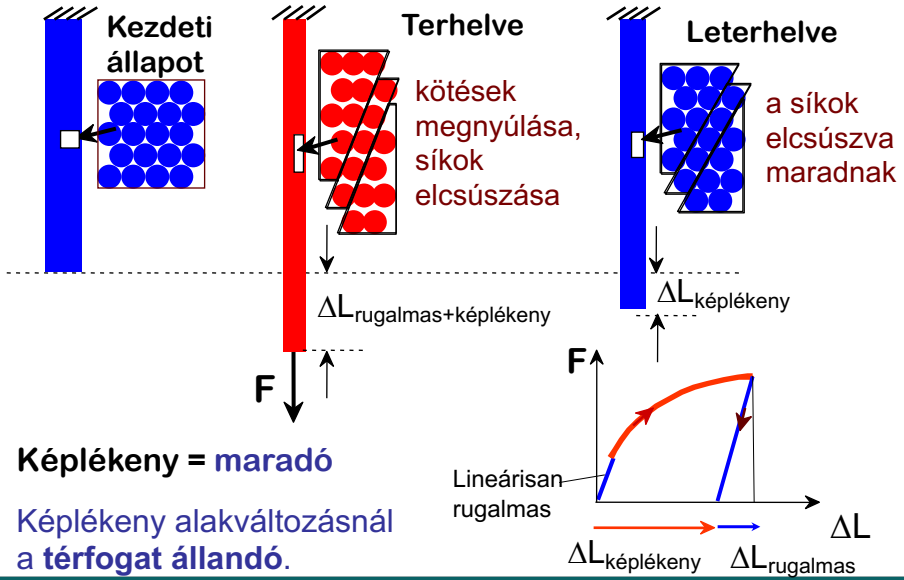
ν : dimenzió nélküli



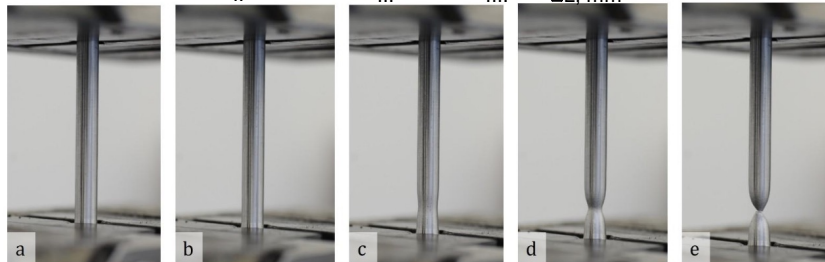
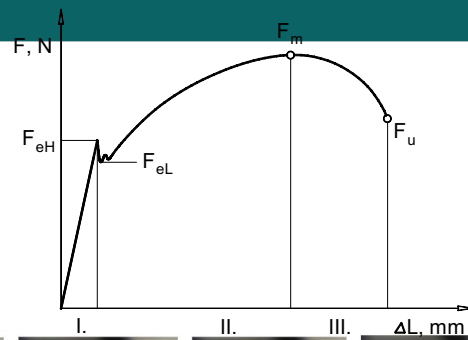
Egytengelyű igénybevétel

ε_r - radiális alakváltozás

$$E_{\text{kerámia}} > E_{\text{fém}} \gg E_{\text{polimer}}$$



- I. Rugalmas alakváltozás
- II. Egyenletes képlékeny alakváltozás
- III. Kontrakció



7. ábra. Egy alumínium próbatest szakítóvizsgálatának pillanatképei: e pontban (a), m pontban (b), m pont után, ahol már megfigyelhető a kontrahálódott keresztmetszet (c), u pont előtt (d), u pontban, ahol már elszakadt a próbatest (e).

A szakítódiagram felvételéhez szükséges eszközök

- **Erőmérés:**
 - - mechanikus
 - - elektromos (erőmérő cella)
- **Nyúlásmérés:**
 - keresztfej elmozdulás
 - finomnyúlás mérés
 - érintésmentes nyúlásmérés (lézer, video-extenzométer)

Szabványos mérőszámok

Feszültségi mérőszámok

Folyáshatár [MPa]

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}, \quad R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0}$$

Szakítószilárdság [MPa]

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

Alakváltozási mérőszámok

Kontrakció

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} 100 \text{ [%]}$$

Szakadási nyúlás

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} 100 \text{ [%]}$$

Származtatott jellemzők

• Mérnöki rendszer

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

$$\varepsilon = \frac{S_0}{S} - 1$$

Alakváltozás

• Valódi rendszer

$$\varphi = \ln \frac{l}{l_0}$$

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S}$$

$$\sigma^M = \frac{F}{S_0}$$

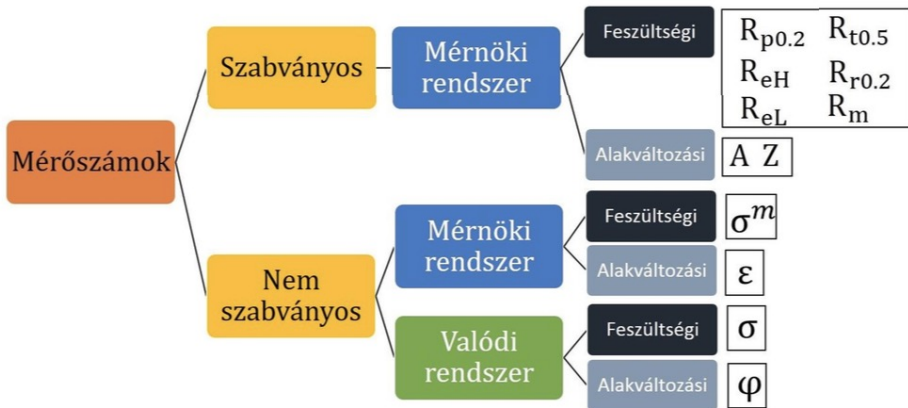
Feszültség

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

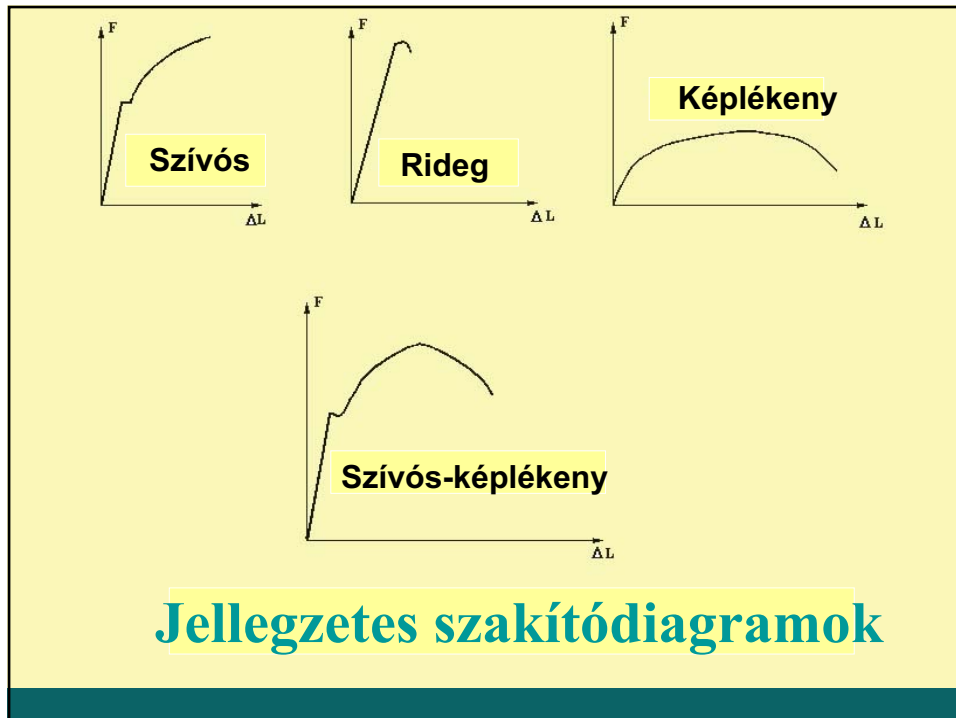
$$W_c = \int_0^{\varepsilon_u} \sigma^M d\varepsilon$$

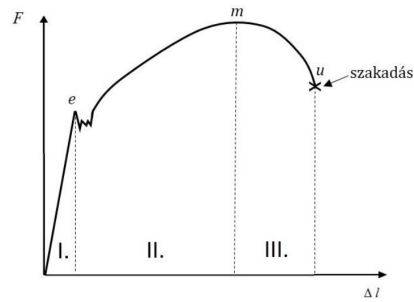
Fajlagos törési munka [J/cm³]

$$W_c = \int_0^{\varphi_u} \sigma d\varphi$$

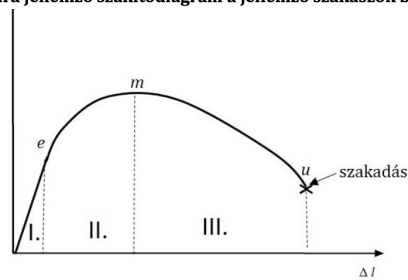


8. ábra. A szakítóvizsgálatból számolható szabványos és nem szabványos mérőszámok csoportosítása.





Egy lágycélra jellemző szakítódiaagram a jellemző szakaszok bejelölésével



Egy alumíniumra jellemző szakítódiaagram a jellemző szakaszok bejelölésével

Ha nincs kifejezett folyási jelenség, akkor megadható a

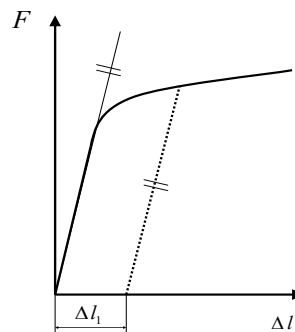
terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár

Terhelt állapotban (pl. 0,2 %-os nem arányos nyúlásnál):

$$R_{p0.2} = \frac{F_{p0.2}}{S_0} \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Nem arányos nyúlás

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_1}{l_0} = 0.2 \%$$



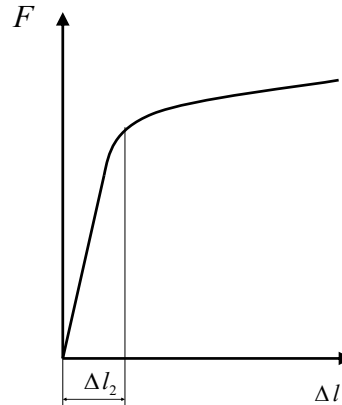
Névleges folyáshatár

(pl. 0,5 %-os teljes nyúlásnál):

$$R_{t0.5} = \frac{F_{t0.5}}{S_0} \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Teljes nyúlás

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_2}{l_0} = 0.5\%$$



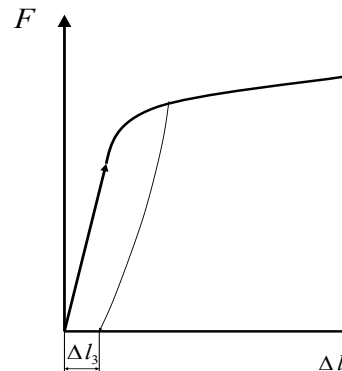
23

Terheletlen állapotban (pl. 0,2 %-os maradó nyúlásnál) mért egyezményes folyáshatár:

$$R_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0} \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Maradó nyúlás

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_3}{l_0} = 0.2\%$$



A próbatestet 10-12 másodpercig az előírt folyáshatárnak megfelelő terhelőerővel terheljük, majd a terhelés megszüntetése után ellenőrizni kell, hogy a maradó nyúlás értéke nem nagyobb-e, mint az előírt érték.

24

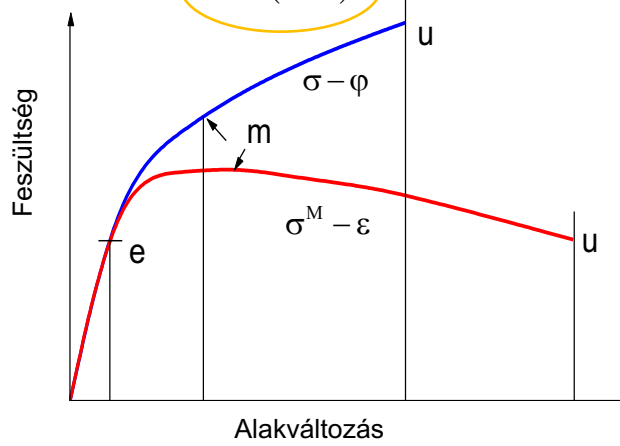


$$F = \sigma S = \sigma^M S_0 \Rightarrow \sigma = \sigma^M (1 + \varepsilon)$$

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon)$$

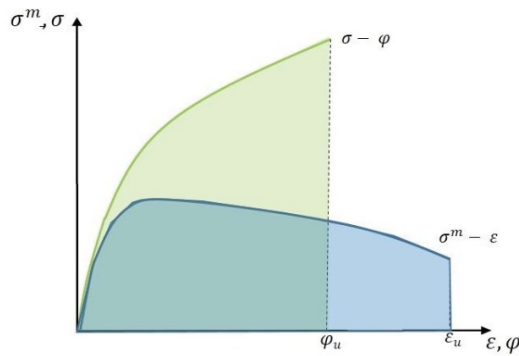
mivel:

$$\varepsilon = \frac{S_0}{S} - 1$$



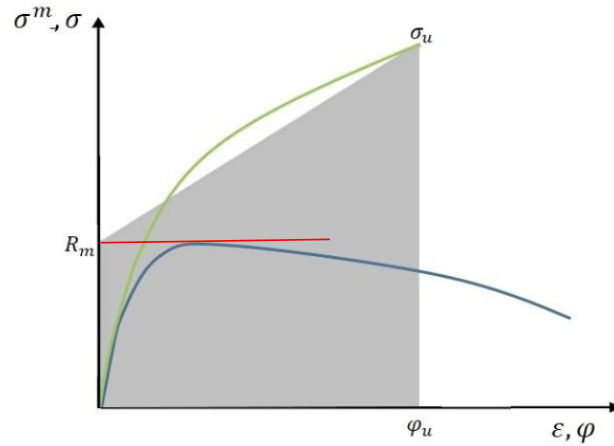
Fajlagos törési munka

$$W_c = \int_0^{\varepsilon_u} \sigma^m(\varepsilon) d\varepsilon = \int_0^{\varphi_u} \sigma(\varphi) d\varphi \quad (\text{J/cm}^3)$$



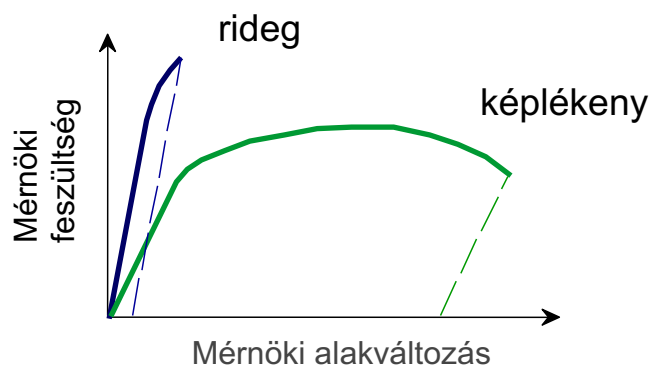
A fajlagos törésmunka grafikus értelmezése mérnöki és valódi rendszerben.

$$W_c \cong \frac{R_m + \sigma_u^v}{2} \cdot \varphi_u \text{ (J/cm}^3\text{)}$$



A fajlagos törésmunka trapézformulával való számításának grafikus értelmezése.

Képlékeny / rideg viselkedés



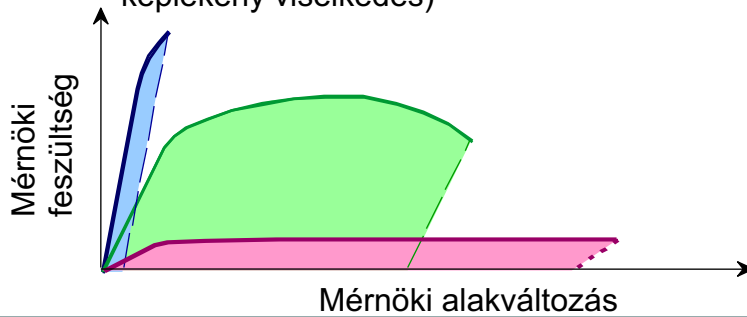
ha a maradó alakváltozás közel nulla, akkor rideg,
 ha a maradó alakváltozás jelentős, akkor képlékeny

Az anyag törésig tartó energiaelnyelő képessége.

kerámia: kis szívósság (nagy szilárdság, rideg viselkedés)

fém: nagy szívósság (közepes szilárdság, képlékeny viselkedés)

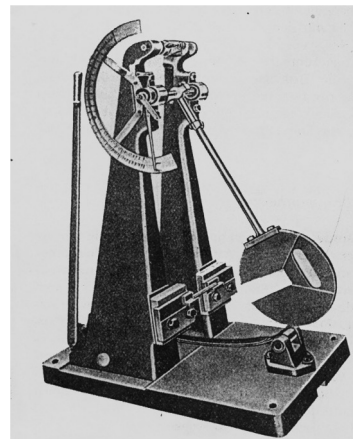
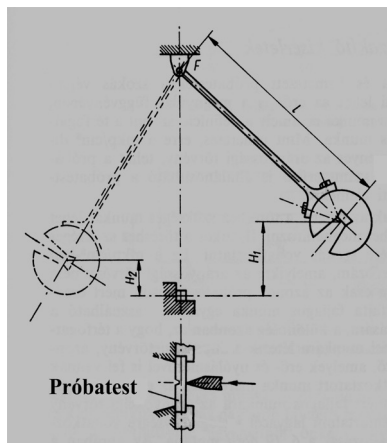
polimer: kis szívósság (kis szilárdság, képlékeny viselkedés)



29

29

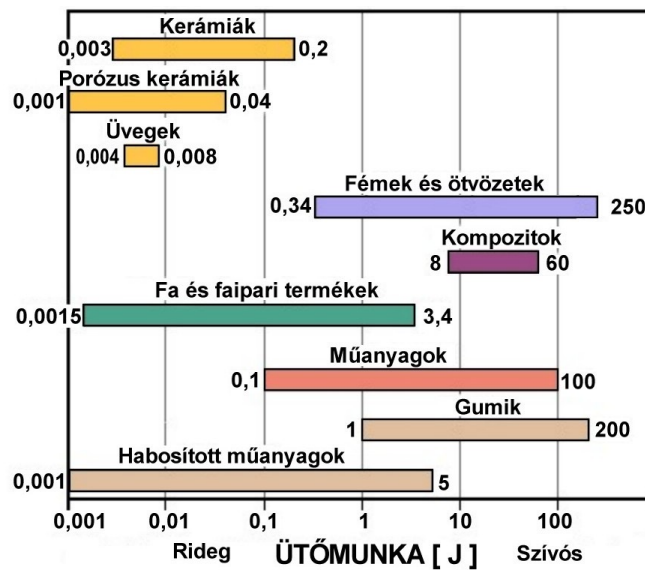
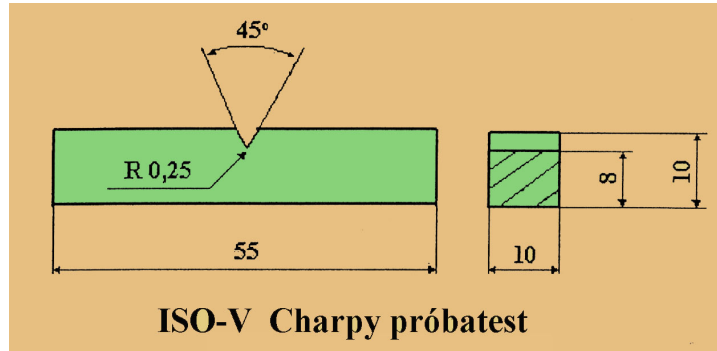
Charpy-féle ütve hajlító vizsgálat



Törési- vagy ütőmunka: $KV = mg(H_1 - H_2) [J]$

30

30



Ütőmunkát befolyásoló (állapot) tényezők

Hőmérséklet

Alakváltozási sebesség

Feszültségi állapot

Ponthiba koncentráció

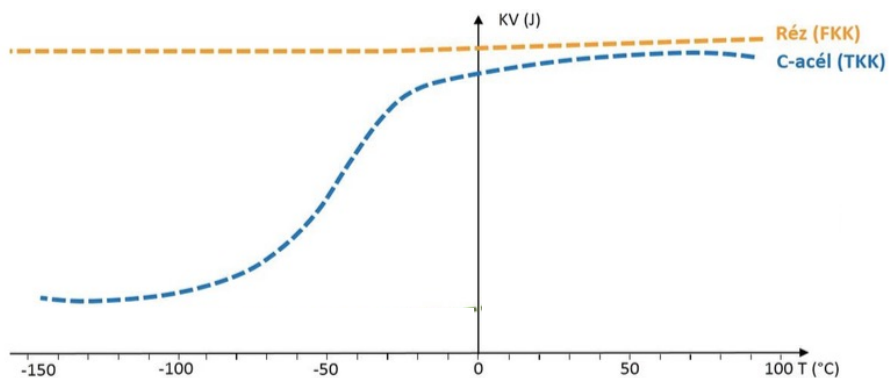
...

Állapottényezők

33

33

A hőmérséklet hatása



4. ábra. FKK, TKK és HEX kristályrácsú anyagok KV-T görbéi.

34

34

Intrinsic és extrinsic tulajdonságok 2. (szerkezet érzéketlen, szerkezet érzékeny)

TKK:

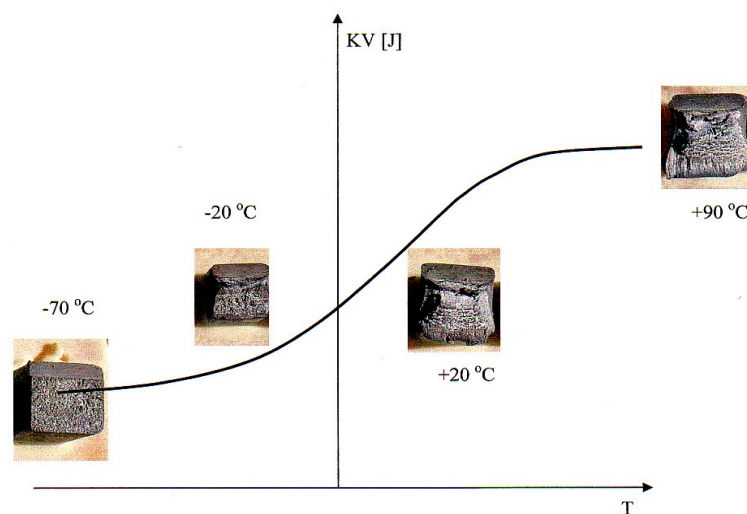
- nehezen alakítható,
- rossz vezető,
- van kifáradási határa,
- van rideg-képlékeny átmeneti hőmérséklete

FKK:

- jól alakítható,
- jó vezető,
- nincs kifáradási határa,
- nincs rideg-képlékeny átmeneti hőmérséklete

35

A hőmérséklet hatása TKK



36

36

Átmeneti hőmérséklet kijelölése lehetséges a töretfelület megfigyelése alapján is

- szívós töret – matt, szálás jellegű
- rideg töret – csillogó, kristályos megjelenésű

Az átmeneti hőmérsékleten a kétféle töret aránya 50-50 %.



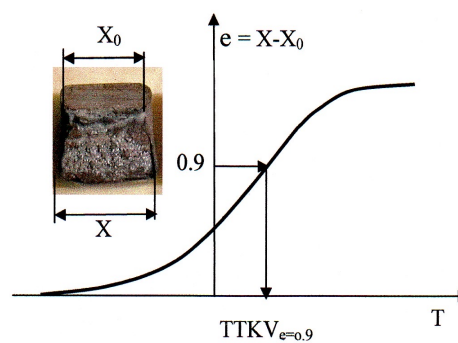
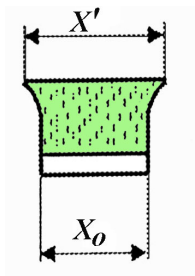
37

37

Expanzió meghatározása

- a törött próbatest méretváltozása
- az átmeneti hőmérséklet kijelölése adott expanziós értékhez,

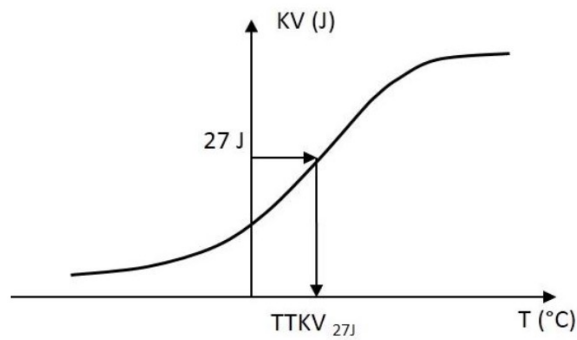
pl. $exp = 0,9 \text{ mm}$ -hez



38

38

TTKV meghatározása előírt ütőmunka alapján

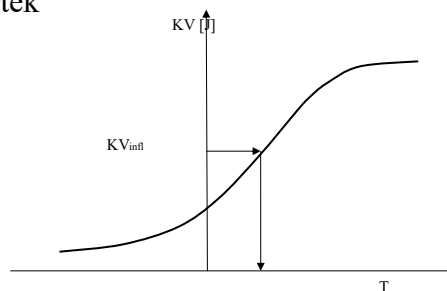


A KV-T görbe inflexiós pontja szerinti értékelés

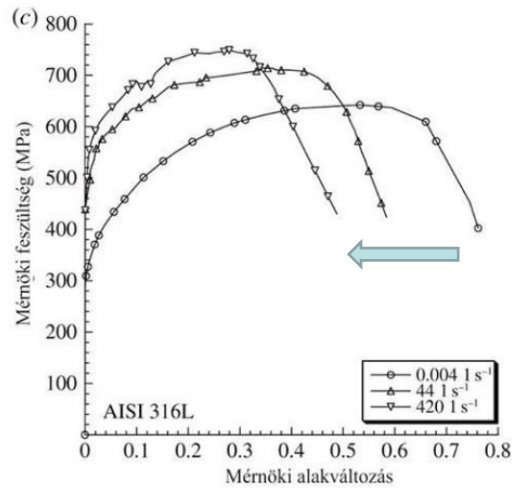
A KV-T mérési eredményekre az alábbi 4 paraméteres függvény illeszthető:

$$KV(T) = A + B * \tanh\left(\frac{T - T_0}{C}\right)$$

Az illesztés elvégzése után kijelölhető az inflexiós ponthoz (T_{infl}) tartozó TTKV érték



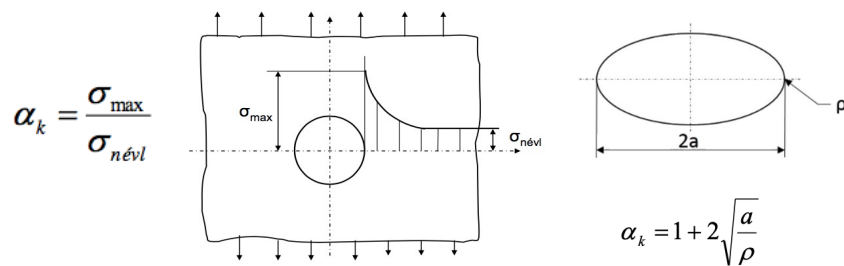
Alakváltozási sebesség hatása



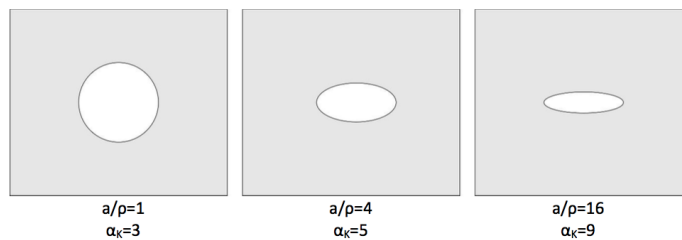
41

41

A feszültségi állapot hatása



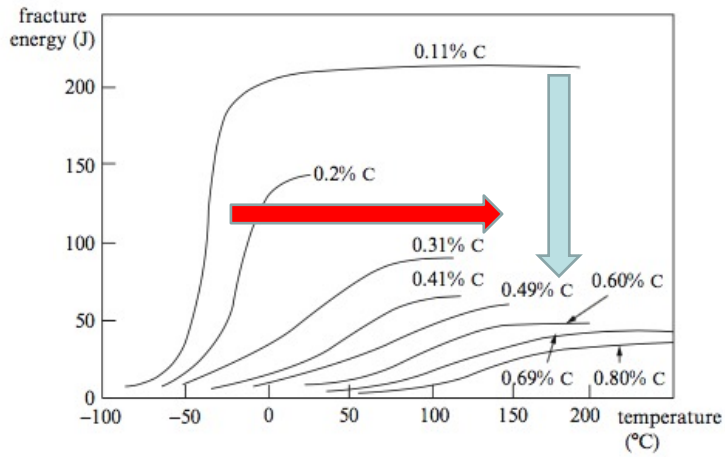
10.ábra. Egy furatot tartalmazó lemezben ébredő, a húzás irányával párhuzamos feszültségkomponens eloszlása a furat középtengelyének síkjában.



42

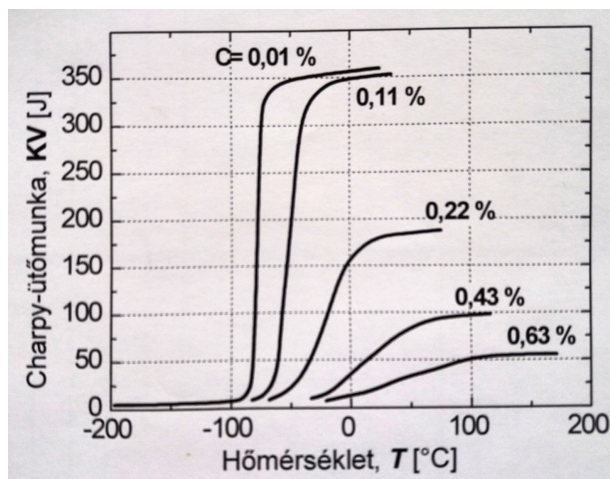
42

Karbon tartalom hatása



43

43



44

44

Keménységmérés

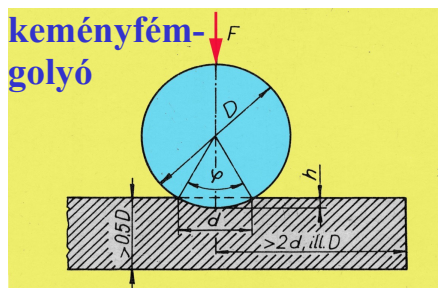
- **A (statikus) keménység fogalma:**
 - A vizsgált anyag ellenállása az adott geometriájú szűrőszerszám behatolásával szemben.
- **A keménység kapcsolata más tulajdonságokkal:**
 - Keménységi adatokból becsülhetők a szilárdsági és technológiai tulajdonságok.
- **A keménységmérés kivitelezése:**
 - Alakváltozás létrehozásával
 - Egyéb fizikai hatások alkalmazásával

45

45

Brinell-keménységmérés

$$HBW = \frac{0.102F}{A} = \frac{0.102F}{D\pi h} = \frac{0.204F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$



F – terhelő erő [N]

A – lenyomat felület [mm^2]

D – golyóátmérő [mm]

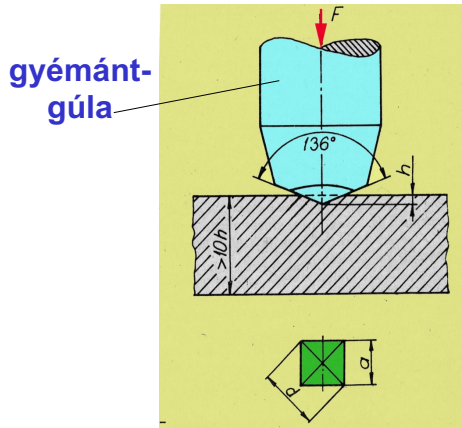
d – lenyomat átmérő [mm]

h – lenyomat mélység [mm]

Átlagos keménység értéket ad (inhomogén anyag vizsgálatánál előnyös).
Következtetni lehet az anyag szilárdságára. Öntöttvasak, színes- és könnyűfémek, lágycélok mérésére alkalmazható.

46

46



$$HV = \frac{0.102F}{A} = 0.189 \frac{F}{d^2}$$

F – terhelőerő [N]

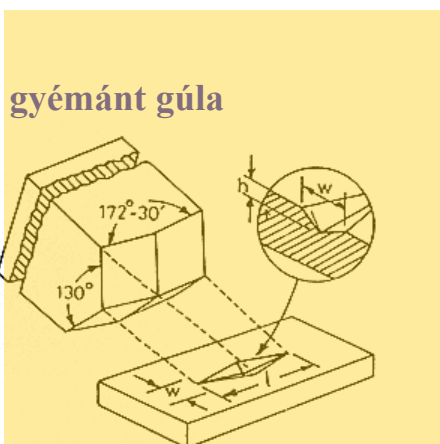
A – lenyomat felület [mm²]

d – lenyomat átló [mm]

Lokális keménység pontos meghatározása. Tetszőleges anyagminőség laboratóriumi vizsgálata. A kis terhelésű és mikro-Vickers eljárás vékony lemezek, rétegek és szövetelemek vizsgálatára használható.

47

47



$$HK = \frac{0,102F}{A} = \frac{1,14487F}{l^2}$$

F – terhelőerő [N]

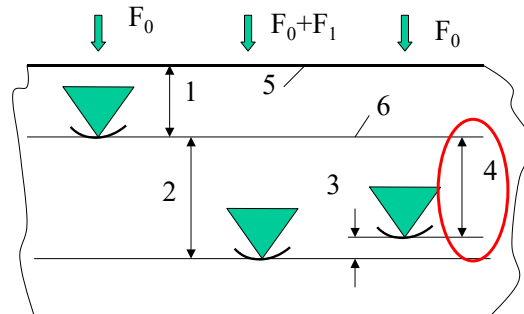
A – lenyomat felület [mm²]

l – a lenyomat hosszabbik átlója [mm]

Pontos eljárás. Hasonló a Vickers-eljáráshoz. Fémek és nagyon rideg anyagok (üveg, műszaki kerámiák) vizsgálatára alkalmas.

48

48



- 1 - a lenyomat mélysége az F_0 előterhelésnél
- 2 - a lenyomat mélysége az $F_0 + F_1$ terhelésnél
- 3 - a rugalmas visszarugózás az F_1 főterhelés levétele után
- 4 - a maradó lenyomat h mélysége
- 5 - a mintadarab felülete
- 6 - a mérés referenciasíkja

Jel	Szűrőszerszám	Előterhelés	Főterhelés	Keménység
HRA	120°	98,07 N	490,3 N	100-h/0,002
HRB	1,5875 mm	98,07 N	882,6 N	130-h/0,002
HRC	120°	98,07 N	1373 N	100-h/0,002
HRH	3,175 mm	98,07 N	490,3 N	130-h/0,002
...
HR15N	120°	29,42 N	117,7 N	100-h/0,001
HR45T	1,5875 mm	29,42 N	411,9 N	100-h/0,001

Gyors, egyszerű, de kevésbé pontos, minden anyagminőségre és geometriai formára.

- gyémántkúp

- acél- vagy keményfém golyó

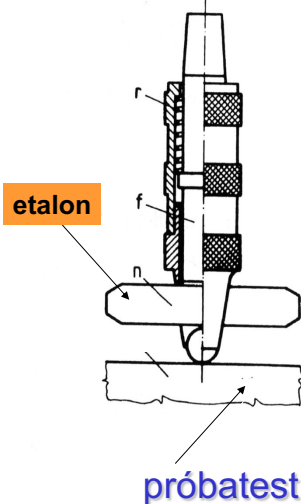
Dinamikus keménységmérő eljárások

- Gyors, lökészerű erőhatással végzett mérések
- Kivitelezés
 - szűrőszerszámmal lenyomatot mérve
 - rugalmas visszapattanást mérve

51

51

Mérés Poldi-kalapáccsal



$$\frac{HB_m}{HB_x} = \left(\frac{d_x}{d_m} \right)^2$$

HB_m – az etalon keménysége

HB_x – a próbatest keménysége

d_m – a lenyomat átmérője az etalonon

d_x – a lenyomat átmérője a próbatesten

52

52

Eljárások a rugalmas visszahatás alapján

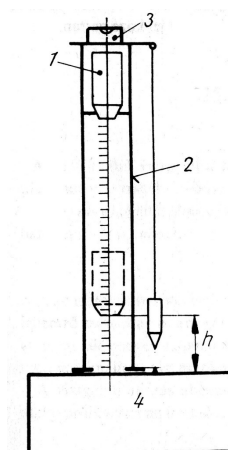
- **Mérés elve**
A vizsgált tárgy felületére adott energiával ráejtett kalapács vagy golyó visszapattanásának magassága arányos a tárgy keménységével.
- **Berendezések**
 - Szkleroszkóp
 - Duroszkóp

53

53

Szkeloroszkóp

1. Ejtősúly (gyémántvéggel)
2. Üvegcső
3. Libella
4. Mérendő tárgy



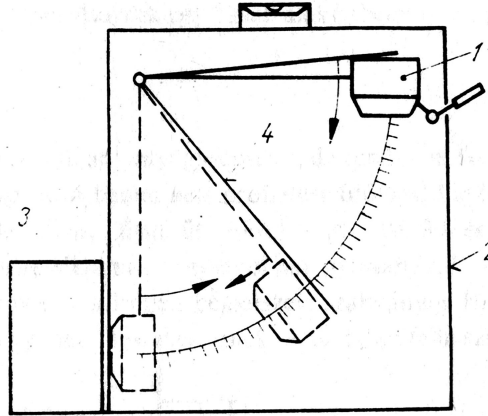
Roncsolásmentes,
egyszerű és
gyors módszer.

A mérendő tárgy tömege befolyásolja a mérési eredményt:
kis tömeg → rezgések → kisebb visszapattanás.

54

54

1. Mérőkalapács
2. Doboz
3. Mérendő tárgy
4. Mutató



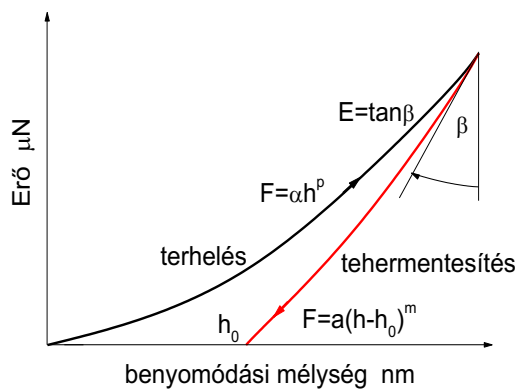
A tömeg és felület minősége befolyásolja.

55

55

Műszerezett keménységmérési eljárások

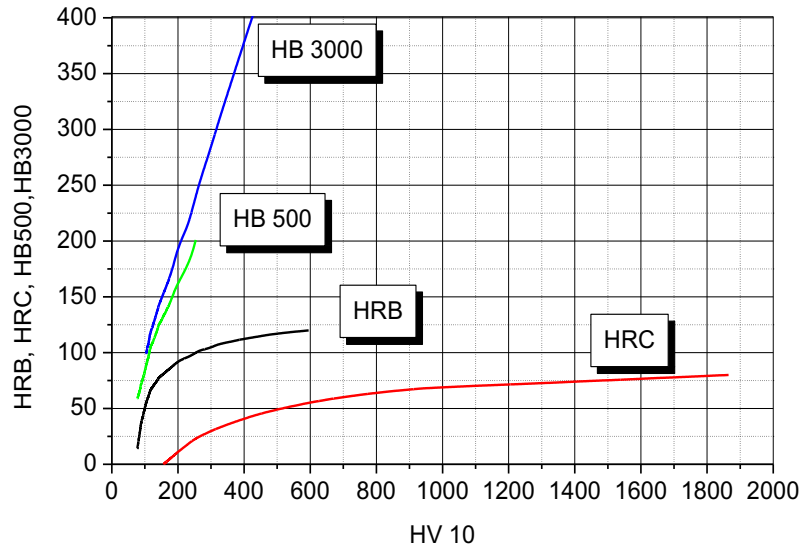
Erő - benyomódás görbe felvétele



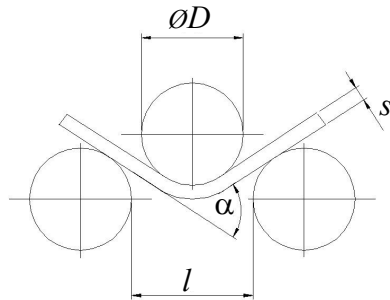
Vékony rétegek mérésére

56

56



Lemezanyag alakíthatóságának vizsgálata



A hajlítást a lemez repedéséig végezzük, és mérjük a töréshez tartozó α hajlítási szöget.

Roncsolásos anyagvizsgálatok

Statikus

- Szakítóvizsgálat
- Keménységmérés (Brinell, Vickers, Rockwell)
- Nyomó-, hajlító, csavaróvizsgálat
- Kúszásvizsgálat

Dinamikus

- Ütve hajlító vizsgálat (Charpy)
- Fárasztóvizsgálat

Legfontosabb hagyományos roncsolásmentes vizsgálati technikák

Szemrevételezéses (szabad szemmel, mikroszkóppal, endoszkóppal)

Festékenetrációs vizsgálat

Ultrahangos vizsgálat

Radiográfiai vizsgálatok

 Röntgen vizsgálat (átvilágító, diffrakciós)

 Izotópos vizsgálat

Mágneses repedésvizsgálat

Örvényáramú vizsgálat

- Rugalmas alakváltozás
- Képlékeny alakváltozás
- Mérnöki / valódi feszültség
- Mérnöki / valódi alakváltozás
- Folyáshatár, egyezményes folyáshatár
- Szakítószilárdság
- Kontrakció
- Fajlagos törési munka
- Szívósság
- Rugalmassági modulusz
- Nyíró rugalmassági modulusz
- Poisson-tényező
- Térfogati rugalmassági modulusz
- Nyomó folyáshatár
- Csavaró folyáshatár
- Hajlító folyáshatár
- Statikus keménység
- Brinell-keménység
- Vickers-keménység
- Knopp-keménység
- Rockwell-keménység
- Dinamikus keménység
- Műszerezett keménységmérés