



◆ BME

◆ ANYAGTUDOMÁNY ÉS

Anyagismeret

Mechanikai anyagvizsgálat

Dr. Lovas Jenó

jlovas@eik.bme.hu

Dr. Krállics György

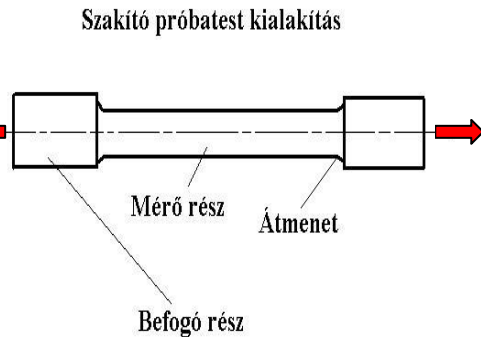
krallics@eik.bme.hu

Szakítóvizsgálat

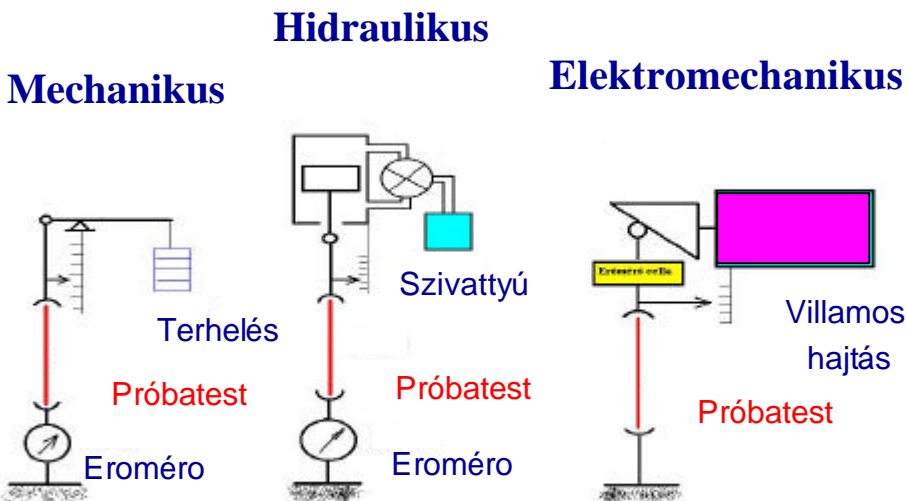
- ◆ A legelterjedtebb roncsolásos vizsgálat
- ◆ Hosszú múltra tekint vissza (Leonardo da Vinci kötélszakító gépe)
- ◆ 100 éve szabványosítva van
- ◆ Boséges információ tartalommal rendelkezik

A mérés elve

Az S_0 kiinduló keresztmetszetu és L_0 kezdeti hosszúságú próbatestet egytengelyu húzó igénybevétellel adott sebesség mellett addig nyújtunk, ameddig be nem következik a szakadás. A vizsgálat során mérjük a terhelés változását a darab nyúlásának függvényében.



Szakítógépek típusai



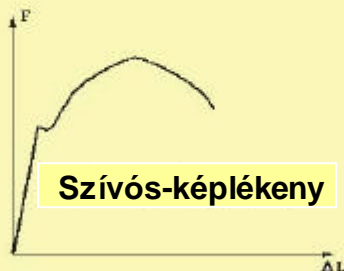
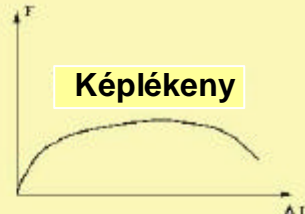
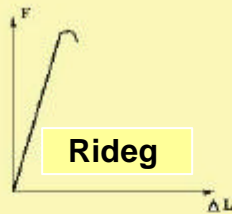
A szakítódiagram felvételéhez szükséges adatok

◆ Eromérés:

- mechanikus
- elektromos (eroméno cella)

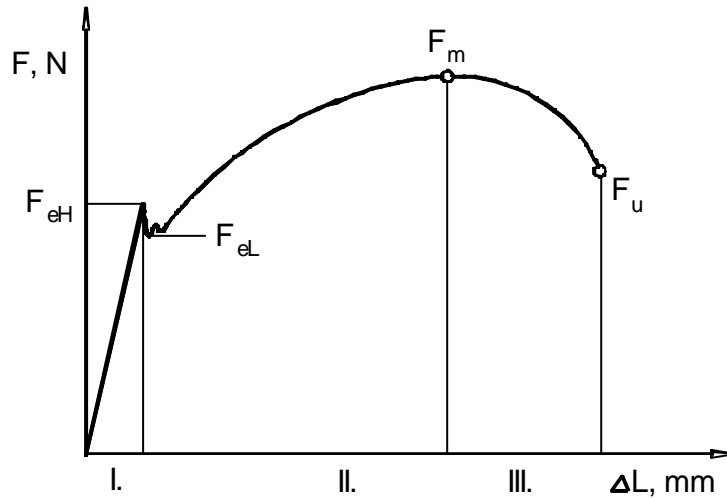
◆ Nyúlásmérés:

- keresztfej elmozdulás
- finomnyúlás mérés
- érintésmentes nyúlásmérés (lézer, videoextenzométer)



Jellegzetes szakítódiagramok

A szakítódiagram jellegzetes tartományai



I. Rugalmas alakváltozás

A terhelés megszűnése után a darab visszanyeri eredeti alakját

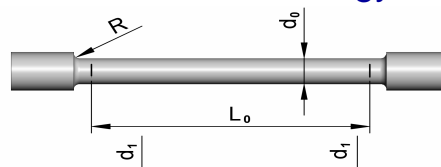
II. Egyenletes alakváltozás

A képlékeny deformáció a mérőhossz minden egyes pontján azonos

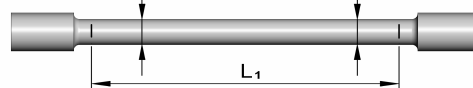
III. Kontrakció

A képlékeny deformáció egy szűk tartományra korlátozódik

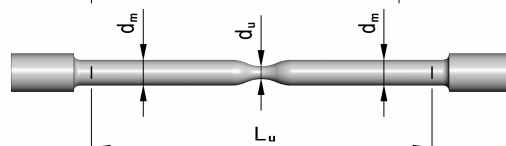
I.



II.



III.



Szabványos méroszámok

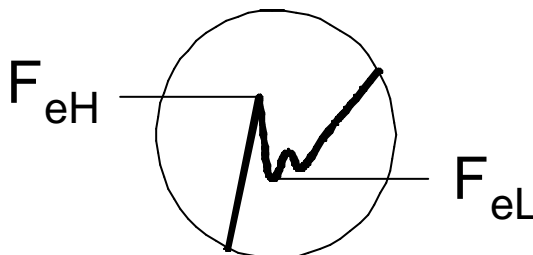
◆ Szilárdsági jellemzők:

Alsó folyáshatár:

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \frac{N}{mm^2}$$

Felső folyáshatár:

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \frac{N}{mm^2}$$



ahol S_0 a próbatest eredeti keresztmetszete

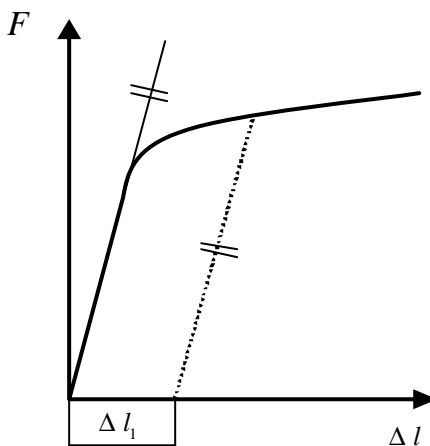
Ha nincs kifejezett folyási jelenség, akkor megadható a **terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár**

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

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

Nem arányos nyúlás

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

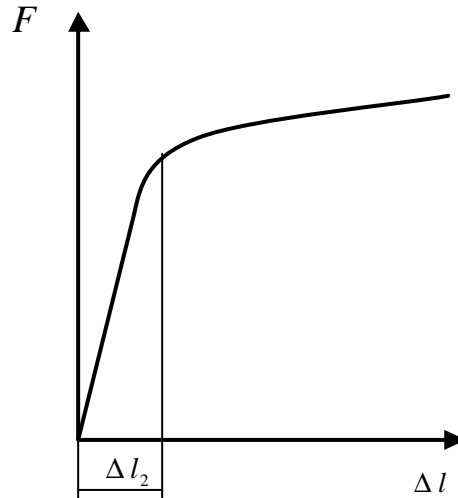


Névleges folyáshatár (pl. 0,5 %-os teljes nyúlásnál):

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

Teljes nyúlás

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

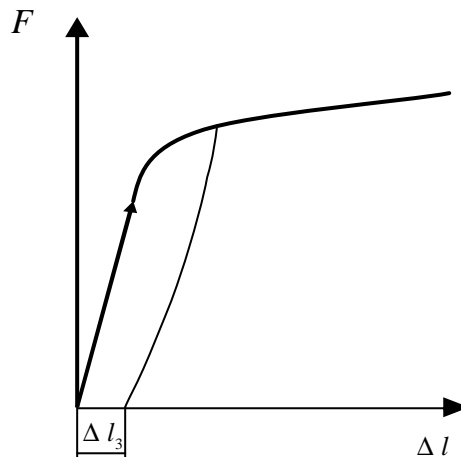


Terheletlen állapotban (pl. 0,2 %-os maradó nyúlásnál)
mért egyezményes folyáshatár:

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

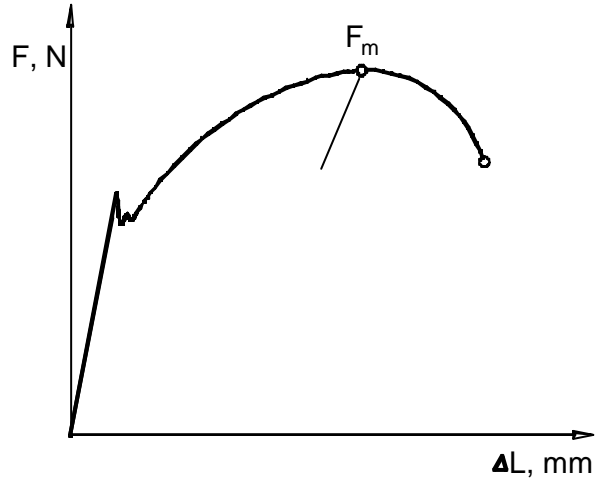
Maradó nyúlás

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



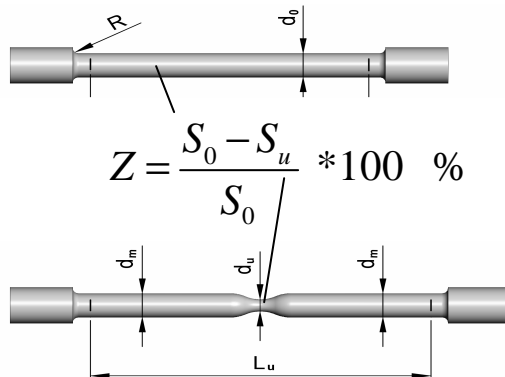
Szakítószilárdság:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad \frac{N}{\text{mm}^2}$$



◆ Alakváltozási jellemzők:

Százalékos keresztmetszet-csökkenés:
(kontrakció)



Ahol S_0 a próbatest eredeti S_u a próbatest törés utáni keresztmetszete

Százalékos szakadási nyúlás

Jelölése:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \% \quad \text{ha} \quad L_0 = 5 \cdot d_0$$

$$A_{11.3} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \% \quad \text{ha} \quad L_0 = 10 \cdot d_0$$

$$A_{80} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \% \quad \text{ha} \quad L_0 = 80 \text{ mm}$$

Ahol L_u a törés után, L_0 a törés előtt mért mérőhossz

Mechanikai jellemzők

◆ Mérnöki rendszer:

Feszültségek: $\mathbf{s}^m = \frac{F}{S_0} = \frac{N}{\text{mm}^2}$

Alakváltozások: $\mathbf{e} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{S_0}{S} - 1$

◆ Valódi rendszer:

Feszültségek: $s = \frac{F}{S} = \frac{N}{mm^2}$

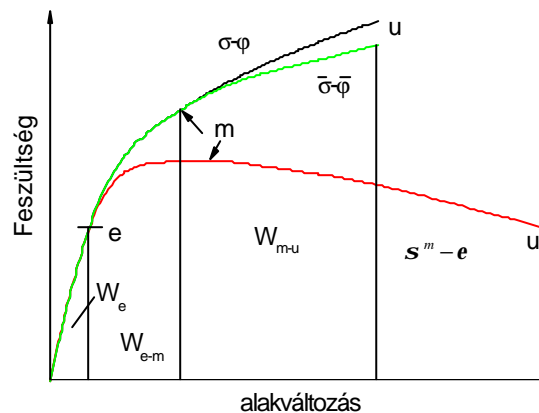
Alakváltozások: $j = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{S_0}{S}$

Fajlagos törési munka:

$$W_c = \int_0^j s \, dj = \int_0^e s^m \, de$$

Közelítő meghatározása:

$$W_c \cong \frac{R_m + s_u}{2} \cdot j_u = \frac{J}{cm^3}$$



Elvégzendő feladatok

◆ Szakítás:

- **Hengeres próbatest szakítása**
- **A szabványos méroszámok meghatározása**
- **Valódi feszültség-valódi nyúlás görbe felvétele**

Keményiségmérés

- ◆ **A (statikus) keménység fogalma:**
A vizsgált anyag ellenállása az adott geometriájú szúrószerszám behatolásával szemben.
- ◆ **A keménység kapcsolata más**
- ◆ **anyagjellemzőkkel:**
Keménységi adatokból szilárdsági és technológiai információk meghatározása.
- ◆ **A keméniségmérés kivitelezése:**
Alakváltozás létrehozásával
Fizikai hatások alkalmazásával

Eljárások

◆ Statikus keménységmérési eljárások

Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell

◆ Dinamikus keménységmérés eszközei

Poldi kalapács

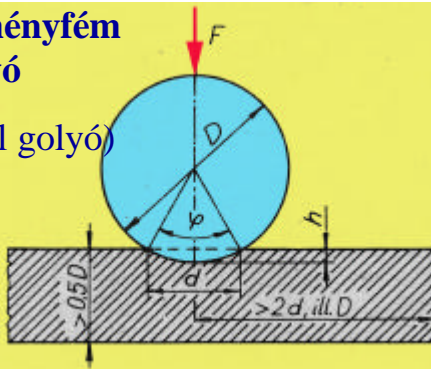
Szkleroszkóp

Duroszkóp

Brinell keménységmérés

keményfém
golyó

(acél golyó)



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

F – terhelőerő [N]

A – lenyomatfelület [mm^2]

D – golyóátmérő [mm]

d – lenyomat átmérő [mm]

h – lenyomatmélység [mm]

A vizsgálat lépései

- ◆ Felület tisztítás, fémes, sima felület előállítása
- ◆ Alkalmazandó golyóátmérom és terhelő erő megválasztása (a vastagság és az anyagminőség figyelembevételével) $s \geq 8 \cdot h$
- ◆ A lenyomat átmérom mérése, a méroszám meghatározása
- ◆ A keménység jegyzokönyvezése

$HBW/D [mm] / F [kp] / t [s]$

pl. 350HBW/5/750: golyóátm. 5 mm, terhelő erő 7,355 kN (750 kp), idő 10-15s

600HBW/1/30/20: golyóátm. 1 mm, terhelő erő 294,2 N (30 kp), idő 20 s

Az eljárás előnyei, hátrányai, alkalmazási területe

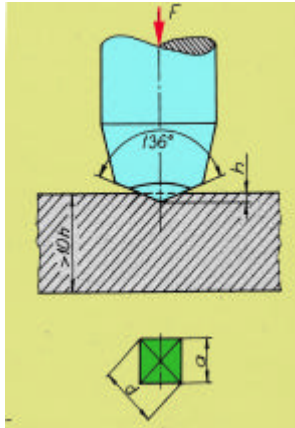
- ◆ **Előnyök**
Átlagos keménység értéket ad (inhomogén anyag vizsgálatánál előnyös)
Következtetni lehet az anyag szilárdságára.
- ◆ **Hátrányok**
Viszonylag nagy lenyomat keletkezik, ami roncsolja a felületet
Nem mérhető vékony próbatest, réteg és keménységeloszlás.
Viszonylag lassú, szubjektív leolvasási hibával terhelt
A mérhető darab nagysága korlátozott.

Alkalmazási terület

Öntöttvasak, színes- és könnyűfémek, lágyacélok.

Vickers keménységmérés

gyémánt
gúla



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

F – terhelőerő [N]

A – lenyomatfelület [mm^2]

d – lenyomat átló [mm]

Vickers eljárások

Terhelőerő tartományok, N	Keménységi jel
$F \geq 49.03$	$\geq HV5$
$1.961 \leq F < 49.03$	$HV 0.2- < HV5$
$0.09807 \leq F < 1.961$	$HV 0.01- < HV 0.2$

A vizsgálat lépései

- ◆ **Felület tisztítás, fémes, simított vagy csiszolt felület előállítása** (mikro-Vickershez mikroszkópi csiszolatként kell elokészíteni)
- ◆ **Terheloero megválasztása**
- ◆ **Lenyomat átló mérése** (két egymásra meroleges átló átlaga), **a méroszám meghatározása**
- ◆ **A keménység jegyzokönyvezése**

$HV / F [kp] / t [sec]$

pl. 640 HV 30: terhelo ero 294.2 N (30 kp), ido 10-15s

550 HV 30/20: terhelo ero 294.2 N (30 kp), ido 20s

Alkalmazási terület

- ◆ **Makro-Vickers eljárás**

Tetszoleges anyagminőség, laboratóriumi vizsgálat

- ◆ **Kisterhelésu és mikro-Vickers eljárás**

Vékony lemezeken, fóliákon, termokémiai eljárással, felületi edzéssel, vagy egyéb módon előállított felületi rétegeken, illetve szövetelemeken .

A Vickers eljárás elonyei, hátrányai

◆ Elonyök

Pontos eredményt ad, laboratóriumi mérésekhez jól alkalmazható

Bármely keménységu anyag vizsgálható

Kismértéku felületi roncsolást eredményez, vékony próbatestek, felületi rétegek és keménységeloszlás is vizsgálható.

◆ Hátrányok

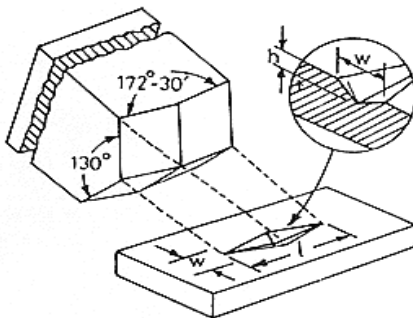
Gondosan elokészített felületet igényel

Viszonylag lassú, szubjektív leolvasási hibával terhelt

A mérhető darab nagysága korlátozott.

Knoop-eljárás

$$HK = \frac{0.102 F}{A} = \frac{1.14484 F}{l^2}$$



gyémánt gula

F – terhelőerő [N]

A – lenyomatfelület [mm^2]

l – lenyomat hosszabbik átlója [mm]

HK/F [kp]/t [s]

pl. 640 HK 0.1 $F = 0.9807 N (0.1 kp)$, $t = 10-15 s$

640 HK 0.1/20 $F = 0.9807 N (0.1 kp)$, $t = 20 s$

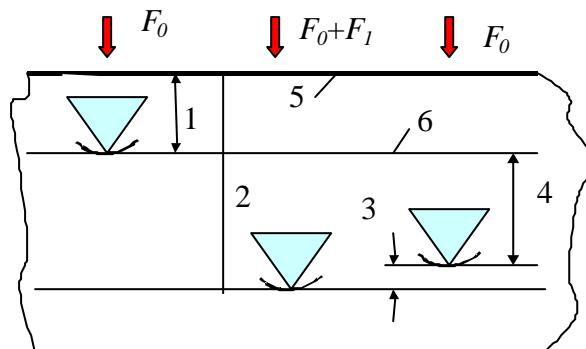
Eljárás végrehajtás, mint

a Vickers-nél

A Knoop és a Vickers eljárás összehasonlítása





1. A leolvasási hibák kisebbek mint a Vickers eljárásnál ($l=3d$, azonos terhelésnél)
2. A Knoop eljárás érzékenyebb a felületi réteg keménységének változására
3. Kisebb mértéku benyomódás mint a Vickersnél? nagyon rideg anyagok mérése (üveg, muszaki kerámia)

Rockwell keménységmérés elvi vázlata



1 - a lenyomat mélysége az F_0 eloterhelésnél; 2 - a lenyomat mélysége az F_1 foterhelésnél; 3 - a rugalmas visszarugózás az F_1 foterhelés levétele után; 4 - a maradó lenyomat h mélysége; 5 - a mintadarab felülete; 6 - a mérés referencia síkja.

Rockwell eljárások

Jel	Szűrőszerszám	Eloterhelés	Foterhelés	Keménység
HRA	 120°	98.07 N	490.3 N	100-h/0.002
HRB	 1.5875mm	98.07 N	882.6 N	130-h/0.002
HRC	 120°	98.07 N	1373 N	100-h/0.002
HRH	 3.175mm	98.07 N	490.3 N	130-h/0.002
...
HR15N	 120°	29.42 N	117.7 N	100-h/0.001
HR45T	 1.5875mm	29.42 N	411.9 N	100-h/0.001

 - gyémánt kúp  - acél vagy keményfém golyó (S/W)

A vizsgálat lépései

- ◆ **Gondos felületi elokészítés nem szükséges**
- ◆ **Az eljárás kiválasztása az anyag ismeretében**
- ◆ **A mérés elvégzése** (a terhelést akkor szüntetjük meg, ha a méroóra mutatója már nem mozog)
- ◆ **A keménységi méroszám leolvasása a megfelelő skálán**
- ◆ **A keménység megadása egész számmal és az eljárás jelével, pl. 55 HRC, 66 HRBS, 85 HREW**

Rockwell eljárások alkalmazási területei

Eljárás	Alkalmazási terület
HRA	Vékony acéllemezek, vékony kérgek, cementált rétegek
HRB	Lágyacélok, réz és alumínium ötvözetek, temperöntvények
HRC	Acélok, titán ötvözetek, temperöntvények
HRH	Alumínium, cink, ólom
...	...
HR15N	Ugyanaz mint az A, C, D skála, de vékonyabb anyagra
HR45T	Ugyanaz mint a B, F, G skála, de vékonyabb anyagra

A Rockwell eljárás elonyei, hátrányai

◆ Elonyök

Gyors, egyszeru eljárás, a mérés eredménye közvetlenül leolvasható

Jól automatizálható, sorozatmérésre alkalmas

Nem igényel gondos próbatest elokészítést

Valamennyi anyagra található eljárás

◆ Hátrányok

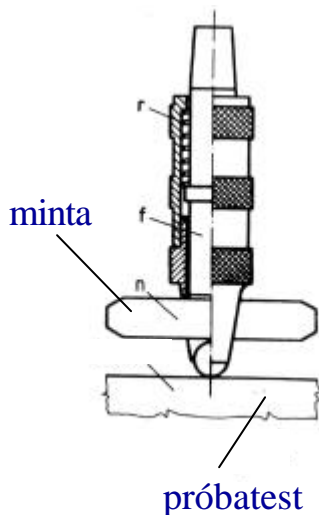
Kevésbé pontos eljárás, mint a Vickers vagy a Brinell

Skálája nem lineáris

Dinamikus keménységméro eljárások

- ◆ Gyors, lökészerű erohatással végzett mérés
- ◆ Kivitelezés
Szűrőszerszámmal lenyomatot mérve
Rugalmas visszapattanást mérve

Mérés Poldi kalapáccsal



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

HB_m – a minta keménysége

HB_x – a próbatess keménysége

d_m – a lenyomat átméroje a mintán

d_x – a lenyomat átméroje a próbatessen

Eljárások a rugalmas visszahatás alapján

◆ Mérés elve

A vizsgált tárgy felületére adott energiával ráejtett kalapács (golyó) visszapattanásának magassága arányos a tárgy keménységével

◆ Berendezések

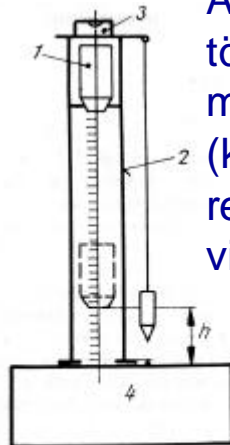
Szkleroszkóp

Duroszkóp

Szkleroszkóp

Roncsolásmentes,
egyszerű, gyors
módszer

1. Ejtősúly
(gyémántvéggel)
2. Üvegcső



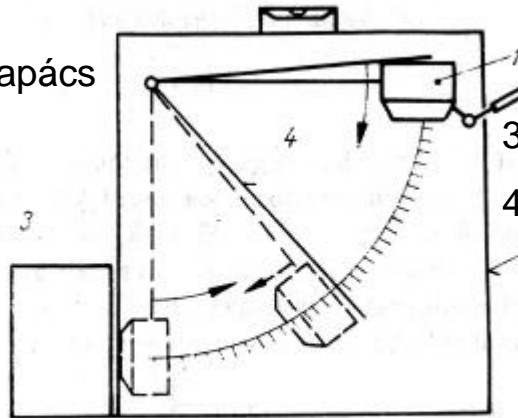
A mérendő tárgy
tömege befolyásolja a
mérési eredményt
(kis tömeg ?
rezgések ? kisebb
visszapattanás)

3. Libella
4. Mérendő tárgy

Duroszkóp

1. Mérokalapács

2. Doboz



3. Mérendo tárgy

4. Mutató

Tömeg és felületi minőség befolyása

Laboratóriumi gyakorlat

◆ Berendezések

Rockwell gép

Briviszkóp (Brinell)

◆ Mérések

Gyorsacél (HRC)

Lágyacél (HB)

Alumínium (HRB)