

A keménységnek kétféle meghatározása ismeretes, és mind a kettőt a vizsgálati módszer jellegéből származtatják.

A **keménységet** általában **benyomóvizsgálatokkal határozzák meg**, amelynek során annak a lenyomatnak a nagyságát mérik, amelyet a szilárd anyagba nyomott kemény benyomófej okozott (statikus módszer). Ez a **meghatározás abban az értelemben nem teljes**, hogy a keménységet az azzal arányos visszapattanási értékkel is meg lehet határozni, például a Shore keménységet Sklerograffal is mérik (dinamikus módszer).

Keménységgel az acélokat, öntöttvasat, faanyagokat, kőanyagokat, a természetes kaucsukot, a gumikat, műanyagokat, bőroket szokás jellemezni.

A keménységmérésnek **statikus** és **dinamikus** módjai vannak. Alapelvük – a fentieknek megfelelően – megegyezik, a benyomófejet meghatározott erővel benyomják a vizsgálandó anyagba, és megméri a képlékeny és rugalmas részből összetevődő helyi alakváltozás nyomát.

Statikus méréssel csak a képlékeny alakváltozással arányos nyom határozható meg. A benyomóerő nagyságától függően megkülönböztetik a **makrokeménységet** (ha a benyomóerő $F > 30$ N), a **közepes keménységet** (ha a benyomóerő 2 – 30 N közé esik) és a **mikrokeménységet** (ha a benyomóerő $F < 2$ N). *Statikus* keménységmérési eljárások közé tartozik a *Brinell*, a *Vickers* és a *Rockwell* módszer, valamint a statikus vizsgálatra alkalmas *Shore* módszer.

Dinamikus mérés során a benyomófejet meghatározott távolságból, mozgási energiával a vizsgálandó anyaghoz ütik, ill. az anyagra ejtik, és mérik a visszapattanást vagy az ütőgolyó nyomának átmérőjét. Dinamikus méréssel elsősorban csövek, turbinatengelyek, kovácsolt acél keménységét határozzák meg. *Dinamikus* keménységmérési eljárások közé tartozik a *Shore* keménység (dinamikus vizsgálatra alkalmas, például Sklerograf nevű készülék), az *ingás keménység*, az *ütőkeménység* (*Poldi kalapács*) mérési módszere, a *Cristofoli-féle ejtőorsó*. (Elvileg ide lehetne sorolni a betonok roncsolásmentes szilárdság vizsgálatára használt *Schmidt* kalapácsot is.)

A keménység összefüggésben áll a szilárdsággal, ezért vizsgálatát pl. a **szerkezeti acélok** és a **betonacélok** esetén a **húzószilárdság** (szakítószilárdság) meghatározására, ill. becslésére végzik főképp akkor, ha

- a húzószilárdság közvetlen vizsgálatára nincs lehetőség;
- helyszíni vizsgálatot kell végezni;
- az anyag helyi húzószilárdságát kívánjuk meghatározni, pl. hegesztési varrat környezetében.

A **keménység jele** betűjelből és számjelekből áll. A betűjel első betűje: **H** – amely a német *Härte*, ill. az angol *hardness* (keménység) szó kezdőbetűje, – második betűje a keménység vizsgálati módszerének kezdőbetűje, esetleg szereplő harmadik betűjele a keménység vizsgálati módszer alfajára utal.

Az **acél húzószilárdságának** jele az idők folyamán változott, de acélfajtánként és előírásenként is különböző lehet:

- σ_B (betonacél: MSZ 339:1962)
- R_m (szerkezeti acél: MSZ 500:1974; MSZ 6259:1974
betonacél: MSZ 339:1980 és MSZ 339:2008; MSZ EN 10080:2005)
- f_t (betonacél: MSZ EN 1992-1-1:2005; MSZ EN 1992-1-2:2005; MSZ EN 1992-2)

A keménységmérésre számos módszer és eszköz áll rendelkezésre, amelyek közül a legmegfelelőbbet a vizsgálandó anyagtól és a vizsgálat céljától, körülményeitől függően kell kiválasztani.

Az acélok különböző módszerek szerinti keménység vizsgálati eredményei egymás között, ill. az alapvetőnek tekintett **Brinell keménységre** átszámíthatók. [Az ötvözetlen és ötvözött acélok és acélöntvények keménységének, valamint az acél szakítószilárdságának összehasonlító \(átszámítási\) táblázata \(1. táblázat\)](#) erre a mondatra kattintva nyitható meg. [A Brinell keménység és az acél húzószilárdság – az 1. táblázat értékeiből meghatározott – összefüggését grafikusan az 1. ábrán tüntettük fel](#), amely erre a mondatra kattintva tekinthető meg.

Az *1. ábrabeli* összefüggést egyenessel közelítve a következő átszámítási egyenletet kapjuk:

$$f_t = 3,51 \cdot HB - 26,7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

A másodfokú parabolával leírt átszámítási egyenlet ennél bonyolultabb, de nem sokkal pontosabb:

$$f_t = 0,0006 \cdot HB^2 + 3,12 \cdot HB + 23,9 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Ezekbe az egyenletekbe a *HB Brinell keménység* kp/mm^2 mértékegységben kifejezett értékét kell behelyettesíteni.

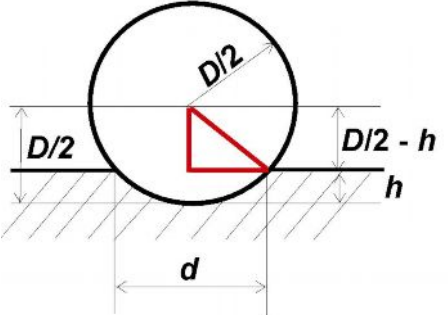


BRINELL KEMÉNYSÉG



Egy D átmérőjű golyót F terhelőerővel kell a megvizsgálandó anyagba nyomni, meghatározott idő után tehermentesíteni kell, majd meg kell mérni a benyomódás d átmérőjét. A Brinell keménység (HB) értéke az F terhelőerő [kp] és a benyomódás gömbsüvege A_s felszínének [mm²] hányadosa.

A Brinell keménység mérés elve

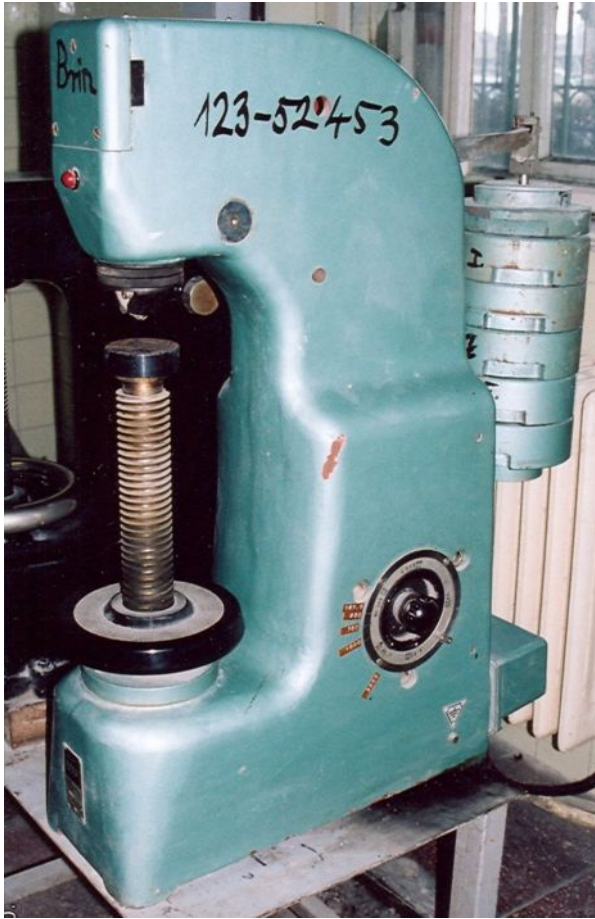
<p>$(D/2-h)^2 + (d/2)^2 = (D/2)^2$</p> 	$HB = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} = \frac{2 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ <p>mert a Pitagorasz-tétel alkalmazásával felírhatjuk, hogy:</p> $h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})$
---	--

A Brinell keménység jele:

Brinell keménység értéke, HB betűjel, golyó átmérő / terhelőerő / terhelési idő

Például, ha a Brinell keménységmérő készülék 10 mm átmérőjű golyójára ható 750 kp (7355 N) terhelőerő 15 másodpercig történt működtetésével kapott Brinell keménység értéke $HB = 100 \text{ kp/mm}^2$, akkor a Brinell keménység jele:

100 HB 10/750/15



Brinell keménység mérő készülék



Brinell keménység mérő készülék

Brinell keménységgel a lágy, vagy közepes keménységű acélok jellemezhetők. A 450 kp/mm^2 -nél nagyobb keménység mérésére a *Brinell* módszer nem alkalmas, helyette a *Rockwell* vagy a *Vickers* eljárás alkalmazandó.

Az acélok keménységét bármely módszerrel vizsgálják is, a *Brinell* keménységre kell (szokás) visszavezetni. Az acél közelítő húzószilárdságát (szakítószilárdságát) a *Brinell* keménységből a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

$$\text{általában: } f_t = 3,5 \cdot \text{HB}, \quad \text{pontosabban: } f_t = 3,51 \cdot \text{HB} - 26,7 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Ezekbe az egyenletekbe a *HB Brinell* keménység kp/mm^2 mértékegységben kifejezett értékét kell behelyettesíteni.

Példák a *Brinell* keménység alkalmazására

- A Böhme-féle koptatógép koptatópályájának keménységét az MSZ 18290-1:1981 szabvány a *Shore* 32 – 36 keménységnek megfelelő 186 HB 10/3000/15 – 216 HB 10/3000/15, a német DIN 52108:1968 szabvány 190 HB 10/3000/15 – 220 HB 10/3000/15 *Brinell* keménységben adja meg.

- Az egykori MNOSZ 1991:1951, MSZ 1991:1960 és MSZ 1991:1967 szabvány azt írta elő, hogy a Föppl-féle ejtőgép ütőfejét edzett, 200 HB *Brinell* keménységű acélból kell elkészíteni. A kos ütéseit átadó acélfeltét keménysége 500 HB volt. A *Föppl*-féle ejtőgéppel 40 mm élhosszúságú kő próbakockák ütőszilárdságát határozták meg. Az acél ejtőkos tömege 50 kg, az öntöttvas üllő tömege 500 kg volt. Az ejtési magasságot az első ütés előtt úgy állították be, hogy a próbakocka 1 cm³ térfogatára 2 kg·cm ütőmunka jusson, majd a további ütések ütőmunkáját ütésenként mindig az első ütéshez tartozó ütőmunkával növelték.

Az ütőszilárdságot a próbatest teljes tönkremeneteléhez tartozó azon ütések számából határozták meg, amelyek után a visszaugró kos magasabban állt meg, mint az előző ütésnél.

Megemlítjük, hogy 1967 előtt hazánkban az útépitési zúzottkövek és a vasúti ágyazati zúzottkövek szilárdságát nem a Los Angeles aprózódási, hanem a *Stübel*-féle ütő vizsgálattal (MSZ 1991:1960, MSZ 11300:1959) határozták meg. A vasúti ágyazati zúzottkövek nyersanyagának szilárdságát még 1967 után is sokáig a *Föppl*-féle ejtőgéppel vizsgálták. *Föppl*-féle vizsgálatot a Műegyetemen már az 1930-as években is végeztek, de *Föppl*-féle és *Stübel*-féle berendezésekkel legutóbb már csak a hazai vasúttársaság központi laboratóriuma (MÁV Anyagvizsgáló Főnökség) rendelkezett. A *Stübel*- és a *Föppl*-féle ütőszilárdság vizsgálati módszerek leírása együtt az MSZ 1991:1960 szabványban volt olvasható. A *Stübel*-féle ejtőgépre vonatkozó keménység követelményeket nem találtunk. (*Láczay-Fritz*, 1930 és *Reznák*, 1965)

- Az MSZ EN 10027-1:2006 szabvány szerint az acél sínek jele például: R320Cr, ahol az R betű a sínacélok jele, a 320-as szám az előírt *Brinell* keménység, a Cr jel a króm ötvözetre utal.



ROCKWELL KEMÉNYSÉG

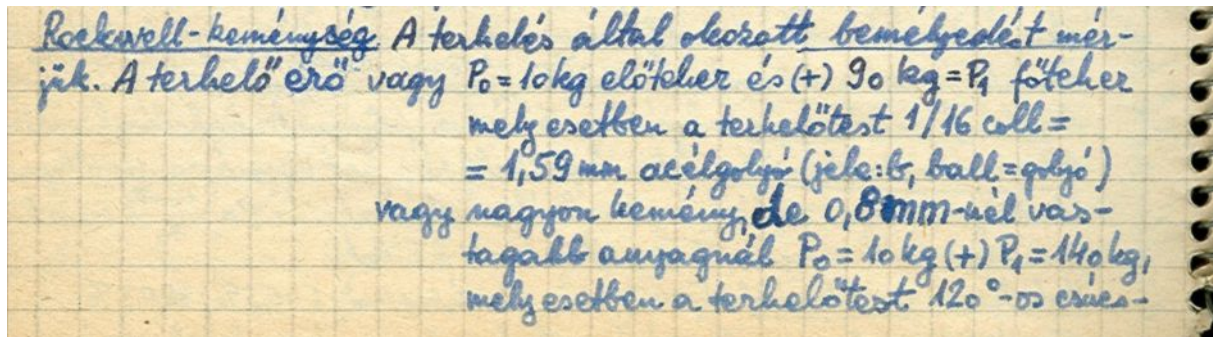


Rockwell keménységgel az edzett, illetve nagy szilárdságúra nemesített acélok keménységét lehet kifejezni.

A Rockwell keménység jele az MSZ EN ISO 6508-1:2006 szabvány szerint:

- Rockwell keménység számértéke
- Rockwell keménység betűjele (HR)
- Skála jele (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T; tapad a keménység betűjeléhez)
- Terhelőtest anyagjele (acél esetén: S, kemény fém esetén: W)

Például: 70 HRF S



$P_0 = 10 \text{ kg}$ CGS mértékegység rendszerbeli előtehernek az SI mértékegység rendszerben megfelelő erő: 98,07 N

$P_1 = 90 \text{ kg}$ CGS mértékegység rendszerbeli főtehernek az SI mértékegység rendszerben megfelelő erő: 882,6 N

Teljes vizsgáló erő a $P_0 + P_1 = 100 \text{ kg}$ CGS mértékegység rendszerbeli teljes teherből az SI mértékegység rendszerben megfelel: = 980,7 N

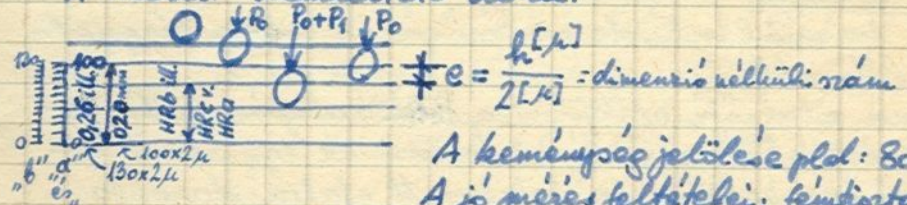
Az 1,5875 mm átmérőjű acélgolyóval és 980,7 N teljes vizsgáló erővel végzett vizsgálat az MSZ EN ISO 6508-1:2006 szabvány szerint nem szabványos, a vizsgálati eredmények feltehetőleg valahol a szabványos F és G skála (keménység jel: HRF és HRG) között helyezkednek el.

szögű, csúcsán 0,2 mm-es sugárral legyöm-
 bolygított gyémántkúp (jеле: c; cone = kúp)
 vagy nagyon kemény, de 0,8-0,4 mm vastag
 anyagból $P_0 = 10 \text{ kg} (+)$ $P_1 = 52,5 \text{ ill. } 50 \text{ kg}$,
 mely esetében a terhelőket a fenti "c"
 váltózat gyémántkúpjával aróros (jеле: a)

A mérés menete:

1. $P_0 = 10 \text{ kg}$ előterhelést adunk, majd kezdőállásba kerülünk a mélységmérő órával
2. Ráadjuk a megfelelő P_1 főterhet. Tehát $P_0 + P_1$ hat.
3. Miután a mélységmérőóra mutatója megállott a P_1 főterhelést megszüntetjük. Tehát újból P_0 hat. Terh. idő: 30000
4. A mélységmérőóra leolvassuk a főterhelés okozta maradó alakváltozás mélységét. A számlapot rendszerint úgy szerkesztik meg, hogy arról azonnal a keménység olvasható le.
5. Kivámitjuk a Rockwell keménységet, ha az arról az következmény nem olvasható le, a következők szerint:
 "a" és "c" jelű (gyémántkúp) eset: $HRC(=)HRA = 100 - e = 100 - \frac{h[\mu]}{2[\mu]}$
 "b" jelű (arálgyöngy) eset: $HRB = 130 - e = 130 - \frac{h[\mu]}{2[\mu]}$
 A "h" benyomódást 2μ -ra ($2\mu = 0,002 \text{ mm}$), mint $\frac{h[\mu]}{2[\mu]}$ egységre vonatkoztatjuk.

A mérést szemléltető ábra:



A keménység jelölése pld: 80 HRB
 A jó mérés feltételei: fémtársa-, sima,
 sík felület. A vizsgált anyag vastagsága "e"-nek legalább 8-szorosa legyen. A próba hát-

lapján a vizsgálat után alakváltozásnak látni nem szabad. A benyomódás körege a próbalap felületétől, vagy két normális benyomódás körege egymástól legalább 3 mm távolságban legyen. Minimum két mérést kell végezni.

A Rockwell-keménység mérés gyakorlati végrehajtása: (HRB mérést végzünk.)

- 1., A műszerasztalra helyezzük az acél metretet.
- 2., A vízintés sikki kerékkel a műszerasztalt a Rockwell-golyóig elhelyjük és ugyanazak ezen kerékkel az asztal további emelékével adjuk a $P_0 = 10$ kg előterhet. Az előteher működésekor a kismutató az alul lévő piros jelre, a nagy mutató HRB mérés esetén a „b” skála 30-as osztására mutat. (mert $100 + 30 \cdot 130$ is 100 egy körfordulat.)
- 3., A jobboldali felsőkar lassú elfordításával a $P_1 = 90$ kg fötterhet ráengedjük a próbadarabra. (hidraulika.)
- 4., Mintán a mutató megállt a kar vízszintes elfordításával a fötterhet megszüntetjük.
- 5., A „b” skálán HRB értéket leolvassuk.



Rockwell keménység mérő készülék

Példák a *Rockwell* keménység alkalmazására

- Az MSZ EN 12504-2:2001 szabvány előírja, hogy a beton roncsolásmentes vizsgálatához használt Schmidt-kalapács hitelesítő üllőjének magja legalább 52 HRC *Rockwell* keménységű acélból készüljön.
- Az MSZ EN 1097-2:2000 szabvány a durva kőanyagalmazok aprózódási ellenállásának meghatározására (a hazánkban elterjedt Los Angeles vizsgálat mellett) alternatív vizsgálati módszerként tartalmazza az ütőkosos ütővizsgálatot. A módszerrel a 8 – 12,5 mm közötti szemhalmaz (frakció) aprózódása vizsgálható meg 10-szeri, 370 mm magasságból történő ütés hatására. A szabvány előírja, hogy az ütőkos mangán-króm ötvöztetésű acél szárának a betétedzési mélysége legalább 1 mm, a felületi keménysége EN 10109-1:1994 szerinti 54 HRC – 56 HRC *Rockwell* keménységű kell legyen. Ugyanilyen keménységű kell legyen a vizsgálati mintát befogadó acél mozsár és az ütést a kőanyag mintára átadó acél dugattyú.

Az ütőkosos berendezés rezgés csillapító lábakon áll. Ezeknek a lábaknak az anyaga ISO 48:1994 szerinti 60 IRHD – 80 IRHD *Rockwell* keménységű természetes kaucsukkeverék.

Az MSZ EN 1097-2:2000 szabvány szerinti ütőkosos ütővizsgálatot hazánkban nem alkalmazzák, tudomásunk szerint ilyen berendezéssel itthon nem is rendelkezünk. Ez az európai eljárás csak elvi hasonlatosságot mutat az egykori MSZ 1991:1960 szabvány szerinti, zúzottkő vizsgáló *Stübel*-féle ejtőgéppel és kőkocka vizsgáló *Föppl*-féle ejtőgéppel.

Megjegyezzük, hogy az MSZ EN 1097-2:2000 szabványban a keménységre vonatkozóan hivatkozott, nálunk nem honosított EN 10109-1:1994 szabványt az EN ISO 6508-1:1999 szabvány érvénybeléptekor visszavonták. Ez utóbbi 2005 évi verzióját vezették be 2006-ban hazánkban (MSZ EN ISO 6508-1:2006).

- A visszavont MSZ 18290-5:1984 szabvány szerinti polirozó berendezés kerékabroncsának gumija (55 ± 5) IRHD *Rockwell*, illetve (55 ± 5) *Shore* keménységű legyen az MSZ 494:1983 (visszavont) szabványnak megfelelően mérve. Ugyanilyen keménységű kell legyen 20 °C hőmérsékleten a még érvényes MSZ 18290-6:1985 szabvány szerinti csúszási ellenállás mérő (SRT, illetve PKS jelű) inga csúszógumija.

Az MSZ 18290-5:1984 nemzeti szabványt az MSZ EN 1097-8:2001 európai szabvány váltotta fel. Az MSZ EN 1097-8:2001 szerint csiszológép (polirozó berendezés) kerékabroncsának gumija (69 ± 3) IRHD *Rockwell* keménységű (ISO 7619) kell legyen. Ugyanez a szabvány írja le az érdességmérő ingás készüléket, és úgy rendelkezik, hogy az inga csúszógumijának keménysége a következő táblázatnak feleljen meg. (Az MSZ EN 1097-8:2001 szabvány az ingás készülék nálunk SRT-nek nevezett skáláját mérőskálának (Meßskale), a nálunk PKS-nek nevezett skáláját F-skálának nevezi.)

Érdességmérő inga csúszógumijának tulajdonsága	Hőmérséklet, °C				
	0	10	20	30	40
Visszapattanási rugalmasság (%) ^{a)}	43-49	58-65	66-73	71-77	74-79
Keménység (IRHD) ^{b)}	53-65	53-65	53-65	53-65	53-65
<p>^{a)} ISO 4662 nemzetközi szabvány szerinti <i>Lüpke</i> visszapattanási rugalmasságmérés</p> <p>^{b)} Nemzetközi gumikeménységi fokozat ISO 48 nemzetközi szabvány szerint</p>					



VICKERS KEMÉNYSÉG



A *Vickers* keménység jele:

Vickers keménység értéke, HV betűjel, terhelőerő / terhelési idő

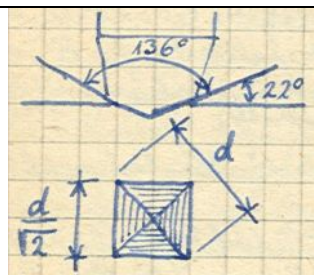
Például, ha a Vickers keménységmérő készülék gyémánt gúlájára ható 10 kp (98,07 N) terhelőerő 15 másodpercig történt működtetésével kapott Vickers keménység értéke $HV = 18,5 \text{ kp/mm}^2$, akkor a Vickers keménység jele:

18,5 HV 10/15

Vickers keménységgel bármilyen keménységű acél jellemezhető. Helyi keménységek vizsgálatára leginkább ez a módszer alkalmas.

A *Vickers keménységet* az MSZ EN ISO 6507-1:2006 szabvány szerint kell vizsgálni, korábban az MSZ 105-12:1986 szabvány szerint vizsgáltuk..

A vizsgálat során a fényezett, négyzetalapú gúla alakú gyémánt nyomótestet – amelynek szemben fekvő palástlapjai $(136 \pm 0,5)$ fokos szöget zárnak be egymással – F terhelőerővel folyamatosan nyomjuk a vizsgálandó anyagba, majd az erőt (10 – 15) másodpercig tartjuk az F értéken, és után megszüntetjük. A maradó benyomódás két átlóját – HV 3 keménységig 0,1 mm átlóhosszig 0,2 μm pontosan, 0,1 mm átlóhossztól 1,0 μm pontosan, HV 5 keménységtől pedig 1,0 μm pontosan – leolvassuk, és képezzük a két leolvasás átlagát (d). A *Vickers keménység* az F terhelőerő és a gúla alakú benyomódás A felszínének hányadosa. A benyomódás A felszíne a d átmérővel kifejezve a következőképpen adódik:



$$A = 4 \cdot \left(\frac{d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{d}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{1}{\cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1,854368}$$

A *Vickers keménység* tehát:

$$HV = \frac{F}{A} = 1,854368 \cdot \frac{F [\text{kp}]}{d^2}$$

A HV fenti összefüggésébe az F terhelőerő értékét kp-ban, a d átlóhosszat mm-ben kell behelyettesíteni. Ha az F terhelőerő értékét N-ban fejezzük ki, akkor a HV összefüggés alakja a következő:

$$HV = \frac{F}{A} = 0,189086 \cdot \frac{F [\text{N}]}{d^2}$$

Például, ha 10 kp = 98,07 N terhelőerő alkalmazása során a benyomódás átlóhosszainak átlaga 1,000 mm, akkor a *Vickers keménység* értéke $HV = 18,5$. Az ilyen acél *Vickers keménységének* jele, mint fenn láttuk: 18,5 HV 10/15.

Ha nem sík felületű, hanem gömb vagy henger alakú testek keménységét vizsgáljuk, akkor a *Vickers* keménység összefüggése a

$$HV = 1,854368 \cdot \frac{F [kp]}{(d + C)^2}$$

alakot ölti, ahol C az alkalmazandó korrekciós tényező (MSZ 105-12:1986).

A *Vickers* keménység mérés során az alkalmazható terhelőerők például a következők:

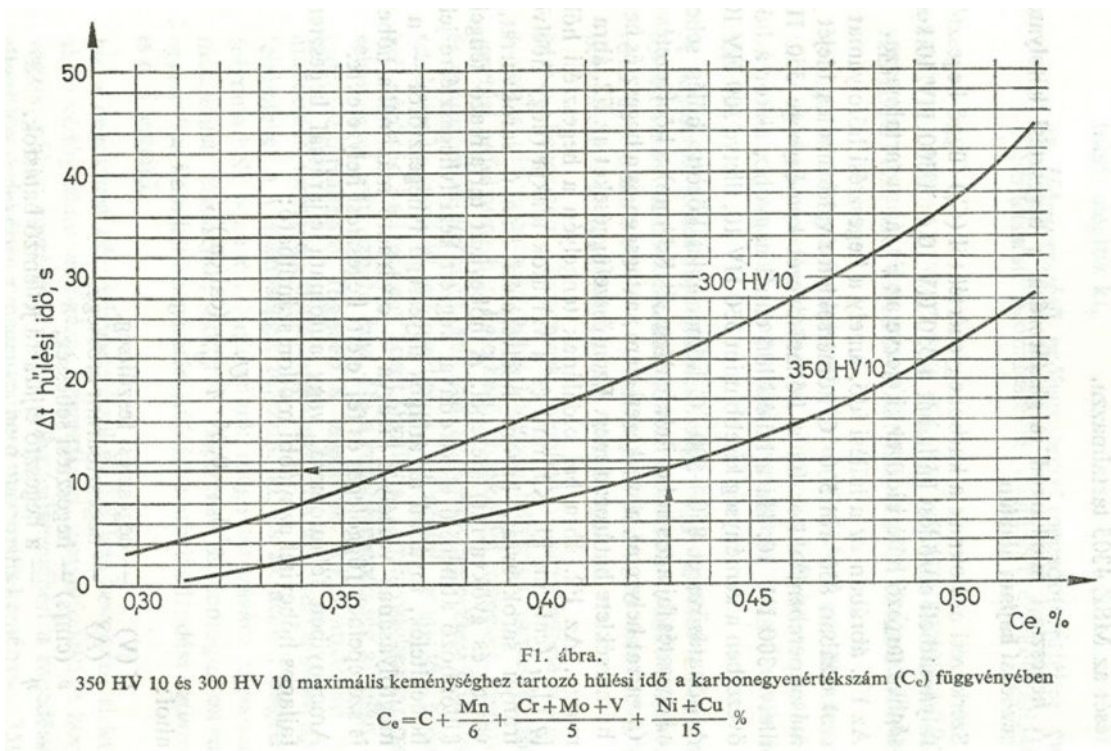
HV 0,5	HV 1	HV 2	HV 3	HV 5	HV 10	HV 20	HV 30	HV 50	HV 100
0,5 kp	1 kp	2 kp	3 kp	5 kp	10 kp	20 kp	30 kp	50 kp	100 kp
4,903 N	9,807 N	19,614 N	29,421	49,035	98,07	196,14	294,21	490,35	980,7 N
~ 5 N	~ 10 N	~ 20 N	~ 30 N	~ 50 N	~ 100 N	~ 200 N	~ 300 N	~ 500 N	~ 1000 N

A *Vickers* keménység mérés és a *mikro-Vickers* keménység mérés között nincs éles határ, *mikro-Vickers* keménységről általában akkor beszélünk, ha a terhelőerő 1 kp-nál vagy 2 kp-nál kisebb.

A *Vickers* keménység értékek meghatározására a terhelőerőből és benyomódási átlóhosszából az MSZ EN ISO 6507-4:2006 szabvány tartalmaz táblázatokat.

Példák a *Vickers* keménység alkalmazására

- Az MSZ EN 12390-4:2000 szabvány előírja, hogy a beton nyomószilárdság vizsgáló gépek nyomólapjait és alátétlemezeit MSZ EN ISO 6507-1:2006 szerinti legalább 550 HV 30 *Vickers* (53 HRC *Rockwell*) keménységű acélból kell készíteni. A nyomószilárdság vizsgáló gép hosszváltozás mérő berendezésének oszlopait nikkel-krom acélból kell készíteni, és 370 HV 30 *Vickers* (38 HRC *Rockwell*) keménységűre kell edzeni.
- Az ötvözetlen szerkezeti acélok mára már visszavont MSZ 500:1974 szabványa megemlítette, hogy a hegesztett kötés (hideg) repedésmentességét biztosító hegesztési munkarend hőbevitelével a mára ugyancsak visszavont MSZ 6280:1974 szabvány foglalkozik. A hegesztett szerkezetek készítésére való acélok MSZ 6280:1974 szabványa az F2. függelékben azt írta, hogy ha a hegesztést kézi ívhegesztéssel és bázikus bevonatú elektródával, aktív védőgázos hegesztéssel, illetve fedettívű hegesztéssel végzik, akkor egyrétegű varrat hőhatásövezetében a repedésképződés elkerülése érdekében a megengedhető legnagyobb *Vickers* keménység 350 HV 10, egyéb esetben 300 HV 10. Az olyan acél, amely a hegesztés hatására a hegesztés környezetében ennél nagyobb keménységű lesz, az nem vagy rosszul hegeszthető, mert a hő és a gyors lehűlés hatására szövetszerkezete edződik, martenzitessé, nagykeménységűvé válik. A kritikus lehűlési idő (Δt) az MSZ 6280:1974 szabvány szerint az acél szénegyenértékétől (szokásos jelölése $C_{ekv}^{\%}$ vagy jelen esetben C_e) a következő ábra szerint függ:

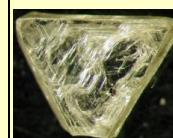


A Δt a hegesztési hőfolyamat hűlési szakaszában a 850 °C hőmérsékletről az 500 °C hőmérsékletre való lehűlés idejét jelenti.

Például, ha a szénegyenérték $C_e = 0,43 \%$, akkor 11 másodpercnél rövidebb lehűlési idő esetén a keménység nagyobb lesz, mint 350 HV 10, és fennáll a kötés repedésveszélye.



MIKRO-VICKERS KEMÉNYSÉG



A *mikro-Vickers* keménységet ugyanúgy jelölik, mint a *Vickers* keménységet, azzal a különbséggel, hogy találkozhatunk a HVM betűjel használatával is.

A *mikro-Vickers* keménység vizsgálatot korábban az MSZ 105-8:1980 szabvány tárgyalta, ma a hegesztési varratok mikrokeménységének meghatározásával az MSZ EN 1043-2:1999 és az MSZ EN ISO 14271:2002 szabvány foglalkozik.

A *mikro-Vickers* keménységmérő berendezések lényegüket tekintve abban különböznek a *Vickers* keménységmérőktől, hogy azoknál kisebb terhelőerővel (általában legfeljebb 2 kp) dolgoznak, ezért felfoghatók a *Vickers* keménységmérők kicsinyített változatának.

A *mikro-Vickers* keménység mérés során az alkalmazható terhelőerők például a következők:

HV 0,005	HV 0,010	HV 0,025	HV 0,05	HV 0,1	HV 0,2	HV 0,3	HV 0,5	HV 1	HV 2
0,005 kp	0,010 kp	0,025 kp	0,050 kp	0,100 kp	0,200 kp	0,300 kp	0,500 kp	1,000 kp	2,000 kp
0,049 N	0,0981 N	0,2452 N	0,4903 N	0,9807 N	1,961 N	2,942 N	4,903 N	9,807 N	19,614 N
~ 0,05 N	~ 0,1 N	~ 0,25 N	~ 0,5 N	~ 1 N	~ 2 N	~ 3 N	~ 5 N	~ 10 N	~ 20 N

A *mikro-Vickers* keménység értékek meghatározására a terhelőerőből és benyomódási átlóhosszából az MSZ EN ISO 6507-4:2006 szabvány tartalmaz táblázatokat.

Példák a *mikro-Vickers* keménység alkalmazására

- A rozsdamentes acélok keménységét *mikro-Vickers* keménységgel szokták kifejezni.
- A fényezett felületű, 10 térfogat%-nál nem nagyobb porozitású építési kőanyagok mikrokeménységét az MSZ 18290-4:1982 szabvány szerint a mikro-Vickers keménységgel lehet kifejezni. A vizsgálat során az egymással ($136 \pm 0,5$) fokos szöget bezáró palástlapú gyémántgúlát $F = 0,1$ kp (0,9807 N) terhelőerővel kell a vizsgált anyagba nyomni, majd (10 – 15) másodpercig ezen az értéken kell tartani, és után meg kell szüntetni. A benyomat átlóhosszát mérőmikroszkóppal legalább 0,2 μm pontossággal kell megmérni. A mikro-Vickers keménységet a benyomódás d átlóhosszából (két átló átlagos hosszából) ugyanúgy kell kiszámítani, mint a Vickers keménység tárgyalásánál láttuk.



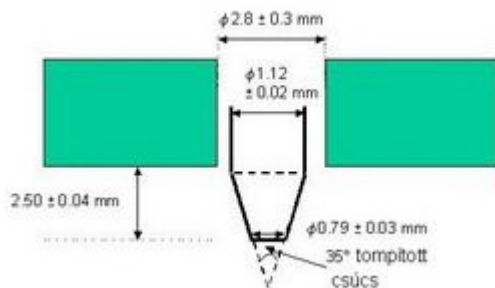
SHORE KEMÉNYSÉG



Shore keménység mérése során egy tompa tű benyomásával szembeni ellenálló képesség mértékét mérik. Az abszolút kemény test *Shore keménysége* 100, ekkor a tű egyáltalán nem hatol az anyagba. Shore-keménységgel jellemzik például **az acélokat, a gumi, poliuretán, PVC és más termoelasztikus műanyagokat.**

Példák a Shore keménység alkalmazására

- Az MSZ 18290-1:1981 szabvány szerinti *Böhme*-féle koptatógép koptatópályája ma is az eredetinek megfelelő keménységű öntöttvas. A koptatópálya megkövetelt keménységének tartományát (*Shore* 30 – 50) a DIN szabványok 1965-ig (DIN 52108:1947), az MSZ szabványok 1981-ig (MSZ 1991:1967, MSZ 4715-4:1972) *D* típusú *Sklerograffal* mérhető, mm-ben kifejezett *Shore* visszapattanási értékkel adták meg. Ma – mint fenn láttuk – a *Böhme*-féle koptatógép koptatópályájának keménységét *Brinell* keménységben adják meg.
- A *Rockwell* keménység tárgyalásánál láttuk, hogy a visszavont MSZ 18290-5:1984 szabványban a polirozó berendezés kerékabroncsa gumijának keménységét és a még érvényes MSZ 18290-6:1985 szabványban a csúszási ellenállás mérő inga csúszógumijának keménységét *Shore* keménységben is előírták (55 ± 5 *Shore*).



Shore keménységmérés vázlatja



SHD0002 Shore keménységmérő, analóg, Shore D skálával, gumik, műanyagok stb. keménységének meghatározására



ZWICK típusú Sklerograf
A leolvasott visszapattanási értéket Shore D, Rockwell C, Rockwell B, és Brinell keménységre lehet átszámítani.



DSDS001 Shore keménységmérő,
digitális, Shore D skálával,
gumik, műanyagok stb. keménységének
meghatározására



THS-210 Shore keménységmérő,
digitális, Shore D skálával,
gumik, műanyagok stb. keménységének
meghatározására



Poldi-kalapács



Gyémánt

A *Poldi*-kalapács egy hordozható keménységmérési eszköz, amellyel az acél, bronz, alumínium, réz, sárgaréz és öntöttvas (szürke- és kéregöntvények), tehát a fémek *Brinell*-keménységének közelítő értékét lehet meghatározni,

- **ha** a vizsgált elem tömege ≥ 5 kg;
- **ha** a $70 \text{ kp/mm}^2 = 686,5 \text{ N/mm}^2$ névleges szakítószilárdságú (ténylegesen $65\text{-}75 \text{ kp/mm}^2 = 637,5\text{-}735,5 \text{ N/mm}^2$ szakítószilárdságú), névlegesen $HB_{\text{etalon-névleges}} = 197 \text{ kp/mm}^2$ *Brinell*-keménységű (ténylegesen $0,928 \times 197 = 183$ és $1,071 \times 197 = 211$ közötti HB_{etalon} *Brinell*-keménységű) etalon acélrúdon keletkezett benyomódás átmérője $\leq 4,5$ mm;
- **ha** a benyomódások középpontjának egymástól való távolsága az etalon acélrúdon ≥ 15 mm.

A *Poldi*-kalapácsot beépített fémszerkezetek vagy telepített laboratóriumi berendezésekbe nagy méretük folytán be nem helyezhető fémpróbatestek *Brinell*-keménységének vizsgálatára használjuk.

A következőkben elsősorban az **acél anyagok**, mint szerkezeti elemek *Poldi*-kalapácsos keménységmérésével foglalkozunk.



Budapest, 2020. június

A **Poldi-kalapács** nevét
a Prága melletti Kladno városban
működő, *Hut Poldi* elnevezésű
cseh acélmű neve után kapta,
ahol 1890-1900 között
fejlesztették ki.

Hut = kohó

A *Hut Poldi* acélművet

Karl Wittgenstein

(1847-1913)

← alapította 1889-ben,
és a kohászati üzemnek felesége,
Leopoldine Kallmus asszony
(tehetséges zongoraművésznő)

Poldi-kalapács



Budapest, 2020. június

21



Dr. Kausay Tibor

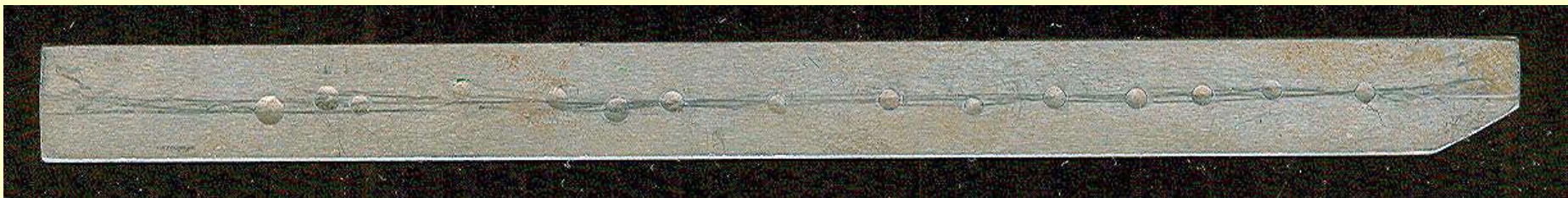
Poldi-kalapács fémek keménységének mérésére



Poldi-kalapács fémek keménységének mérésére



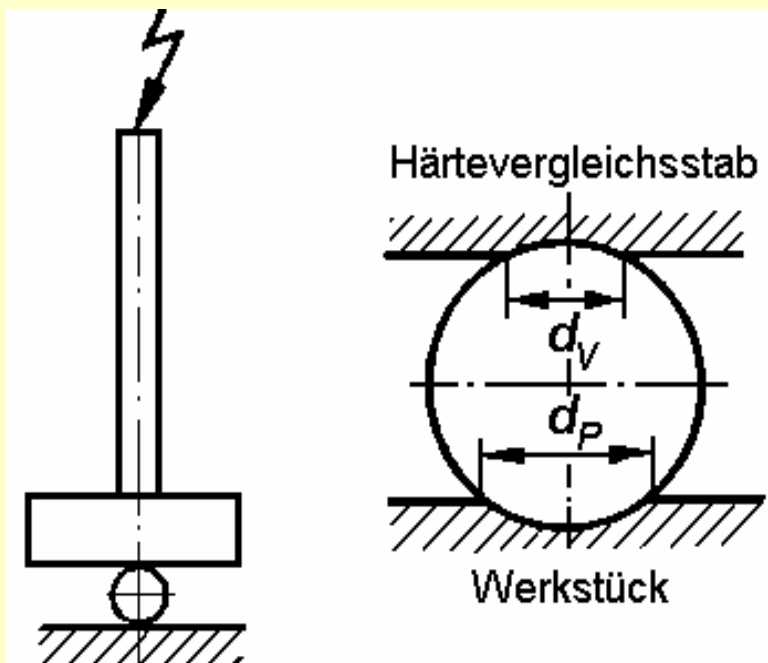
Ütésnyomok a Poldi-kalapáccsal vizsgált próbatesten



„ α ” az etalon rúd névleges *Brinell*-keménységének kalibrációs szorzója (kalibrációs korrekciós tényező) a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján



Felül az etalon rúd (Härtevergleichsstab)



Alul a vizsgált próbatest (Werkstück)

Poldi-kalapács

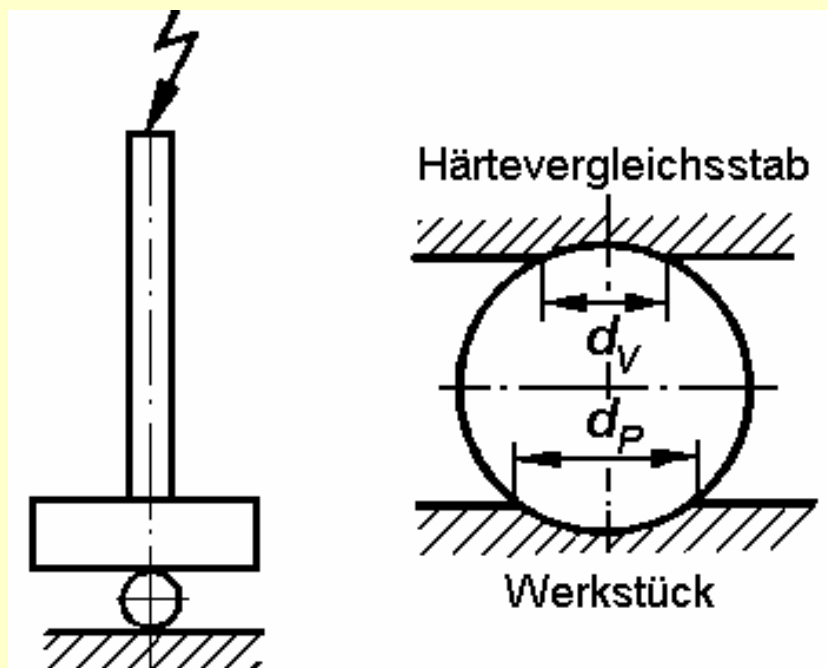
HB_p = a próbatest *Brinell* keménysége
 HB_v = az etalon rúd *Brinell* keménysége
 D = a golyó átmérője
A méretek mm-ben értendők.

A *Poldi*-kalapács a fémek, így például az ötvözetlen vagy kevésbé ötvözött, 20 mm-nél vastagabb, legalább 5 kg tömegű acélok *Brinell*-keménységének becslésére alkalmas hordozható eszköz, amelynek tartozéka az ismert *Brinell*-keménységű etalon acélrúd (hasáb).

α szorzó (korrekciós tényező) a *Poldi*-hasáb (etalon) véglapján



Felül az etalon rúd (Härtevergleichsstab)



Alul a vizsgált próbatest (Werkstück)

Poldi-kalapács

HB_p = a próbatest Brinell keménysége

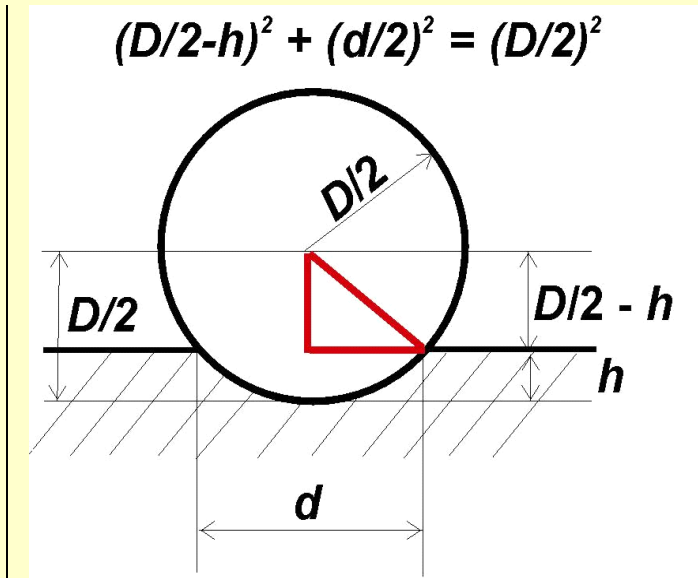
HB_v = az etalon rúd Brinell keménysége

D = a golyó átmérője

A méretek mm-ben értendők

A *Poldi*-kalapács
 ötvözetlen
 a) **A továbbiakban használt jelölések:**
 d_v helyett d_{etalon} , HB_v helyett HB_{etalon} ,
 d_p helyett $d_{\text{fém}}$, HB_p helyett HB_{poldi}
 az anyag tömegű
 a) a megének becslésére
 tartozó mérhető eszköz, amelynek
 tartozó az ismert *Brinell*-keménységű
 etalon rúd (hasáb).

A *Poldi*-keménység kiszámításához szükséges összefüggés felírásához idézzük fel a *Brinell*-keménység összefüggését:



$$HB = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} = \frac{2 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

mert a *Pitagorasz*-tétel alkalmazásával felírhatjuk, hogy:

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2} = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

A *Poldi*-keménység főképp az ütés *dinamikus* volta folytán tér el a *Brinell*-keménységtől, amely utóbbi mérése során az erőátadás *statikus*.

Ha feltételezzük, hogy a D átmérőjű acélgolyóval rendelkező **Poldi-kalapács**ra mért egyazon ütés következtében a **Poldi-kalapács** etalon acélrúdjaiban keletkezett benyomódási mélység (h_{etalon}) és a vizsgált fém (például acélban) keletkezett benyomódási mélység ($h_{\text{fém}}$) hányadosa ($h_{\text{etalon}}/h_{\text{fém}}$) **fordított arányban áll** a **Poldi-kalapács** etalon rúdja **Brinell-keménységének** (HB_{etalon}) és a vizsgált fém **Brinell-keménységének** (HB_{Poldi}) hányadosával ($HB_{\text{etalon}}/HB_{\text{Poldi}}$), akkor az előző diakocka szerint felírhatjuk, hogy:

$$HB_{\text{Poldi}} = HB_{\text{etalon}} \times \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{\text{etalon}}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_{\text{fém}}^2}}$$

Az így kapott eredményt még meg kell szorozni a **Poldi**-hasáb (etalon) véglapján található α korrekciós tényezővel.

A HB_{Poldi} -keménység kiszámítására a d_{etalon} és $d_{fém}$ benyomódási átmérőkből **táblázatok állnak rendelkezésre, de** e *Poldi*-táblázatokban szereplő *Brinell*-keménységek (HB_{Poldi}) értékei **eltérnek** a fenti összefüggéssel kiszámított értékektől.

Ennek oka az lehet, hogy **míg a fenti képletben** nem vették figyelembe a *Brinell*-vizsgálat statikus és a *Poldi*-vizsgálat **dinamikus** jellegének eltérő hatását a maradó alakváltozásra (a leolvasott benyomódási átmérőkre), **addig a szabványok és** a szabványokat követő műszergyártói használati **útmutatók táblázatait** feltehetőleg ennek az eltérésnek a figyelembevételével szerkesztették meg.

Erről részletesebben a

<http://www.betonopus.hu/szakmernoki/180-poldi.pdf>

dolgozatban lehet olvasni.

A STATIKUS ÉS DINAMIKUS VIZSGÁLAT KÜLÖNBSÉGE

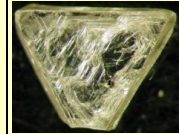
- Ha az anyag igénybevételét folyamatosan növeljük egészen a tönkremenetelig, akkor **statikus vizsgálatot** végzünk. Ebben az esetben 1 százalékos alakváltozás 1-10 s alatt megy végbe.
- Ha a szerkezeti anyagot ütésszerű dinamikus hatásnak tesszük ki, akkor **dinamikus vizsgálatokról** beszélünk. Ekkor az anyag 1 százalékos alakváltozáshoz (10^{-2}) - (10^{-6}) s kell.

Forrás: Dr. Gácsi Zoltán: Fémtan II.

[http://www.matsci.unimiskolc.hu/new/files/jegyzetek/femtan2/Femtan II.pdf](http://www.matsci.unimiskolc.hu/new/files/jegyzetek/femtan2/Femtan%20II.pdf)



„PCE 1000” típusú hordozható keménység mérő készülék



**„PCE 1000” típusú hordozható készülék fémek keménységének mérésére.
Alkalmas Rockwell B & C, Vickers HV, Brinell HB, Shore HS és Leeb HL
keménység mérésére**



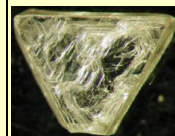
CHRISTOFOLI-FÉLE EJTŐORSÓ



A *Christofoli-féle ejtőorsó* ma már nem használatos roncsolásmentes betonvizsgáló eszköz. Háromféle méretben gyártották, egy hosszabb felső csőből, egy kiszélesedő alsó részből, ezen egy gyűrűvel, és ennek aljára erősített acél ütőgolyóból állt. Az ejtőorsót a vízszintes betonfelületre ejtve, az ütőgolyó a *Christofoli-féle ejtőorsó* méretétől függő átmérőjű nyomot hagyott a betonon. Függőleges betonfelület vizsgálatánál a gyűrűbe fűzött 1 m hosszú, vízszintesen kifeszített zsinór végén lévő ejtőorsót elengedve, a függőleges felületen a hozzá csapódó ütőgolyó hagyott nyomot. Hasonló elven működő eszközzel vizsgálták, illetve lehet vizsgálni a függőlegesen beépített, illetve függőleges helyzetű üvegtáblák ütésállóságát.



ÁSVÁNYOK KEMÉNYSÉGE



Ásványok karcolási keménységét a **Mohs-féle keménységgel (Mohs-skálával)** jellemzik. A Mohs-skálát 1812-ben **Friedrich Mohs** német mineralógus dolgozta ki. A Mohs-skálában a zsírkö keménységét 1-nek, a gyémántét 10-nek tekintik.

A **Mohs-keménységi skála** csak relatív értékeket ad (minden ásvány karcolja a nála puhábbakat).

A Mohs-skála értékei a következők:

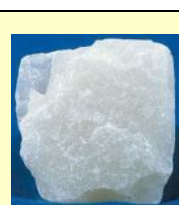
1. talk, zsírkö (körömmel is megkarcolható)
2. gipsz (körömmel is megkarcolható)
3. kalcit (rézpénzzel megkarcolható)
4. fluorit (késsel karcolható)
5. apatit (üveggel megkarcolható)
6. ortoklász, földpátok (az üveget megkarcolják)
7. kvarc (az üveget és a földpátokat megkarcolja)
8. topáz (az üveget és a kvarcot megkarcolja)
9. korund (az üveget és a topázt megkarcolja)
10. gyémánt (a legkeményebb valamennyi ásvány között)

Magyarázatok:

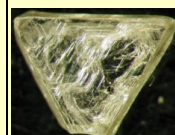
Gyémánt: A szén három eltérő allotrop módosulatának egyike. Rendkívül kemény és rideg. Nagyon régóta ismert, de csak a XVIII. század végén mutatták ki, hogy a szén egyik allotrop módosulata. További allotrop módosulatai a grafit és a fullerének.

Zsírkö, talkum: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ víztartalmú magnézium-szilikát, zsíros tapintású, többnyire halványszürke, puha ásvány.

Allotrop átalakulás: A kémiai reakciók egy speciális fajtája, amikor az elem egyik *allotrop* módosulata átalakul a másikká. Például, amikor a grafit igen nagy nyomáson gyémánttá alakul.



DR. SCHMIDT SÁNDOR műegyetemi professzor (1855-1904) előadása a kristályok keménységéről (1883)



Jó szívvel ajánlom szíves figyelmükbe [DR. SCHMIDT SÁNDOR](#) műegyetemi professzor [Budapesten, 1883. december 7-én, a Természettudományi Társulat estélyén elhangzott, és írásban is közzétett „A kristályokról” című előadásának a kristályok keménységéről](#) szóló részletét, amelyet e sorokra kattintva lehet elolvasni.

Felhasznált irodalom

MNOSZ 1991:1951	Természetes kövek vizsgálati módszerei
MSZ 105-8:1980	Fémek mechanikai vizsgálata. Mikrokeménység-mérés Vickers szerint
MSZ 105-12:1986	Fémek mechanikai vizsgálata. Keménységmérés Vickers szerint HV 5-től HV 100-ig
MSZ 339:1962	Melegen hengerelt betonacél
MSZ 339:1980	Melegen hengerelt betonacél
MSZ 494:1983	Gumi keménységének meghatározása
MSZ 500:1974	Általános rendeltetésű ötvözetlen szerkezeti acél
MSZ 1991:1960	Természetes építőkövek vizsgálati módszerei
MSZ 1991:1967	Természetes építési kövek és kőzúzalékok vizsgálati módszerei
MSZ 4715-4:1972	Megszilárdult beton vizsgálata. Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata
MSZ 6259:1974	Időjárásálló szerkezeti acél
MSZ 6280:1974	Acélok hegesztett szerkezetekhez
MSZ 11300:1959	Zúzottkő és zúzalék egyszer tört és osztályozott (Z jelű)
MSZ 18290-1:1981	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Kopási vizsgálat Böhme módszerrel
MSZ 18290-4:1982	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Mikrokeménység mérése Vickers szerint.
MSZ 18290-5:1984	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Próbahalmazok csiszolódási vizsgálata
MSZ 18290-6:1985	Építési kőanyagok felületi tulajdonságainak vizsgálata. Építő- és útburkoló kövek csúszási ellenállásának vizsgálata
MSZ EN 1043-2:1999	Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálatai. Keménységvizsgálat. 2. rész: Hegesztett kötések mikrokeménységvizsgálata
MSZ EN 1097-2:2000	Kőanyag-halmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 2. rész: Az aprózódással szembeni ellenállás meghatározása. Módosítás: MSZ EN 1097-2:1998/A1:2007
MSZ EN 1992-1-1:2005	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
MSZ EN 1992-1-2:2005	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Tervezés tűzterhelésre

MSZ EN 1992-2:2006	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 2. rész: Betonhidak. Tervezési és szerkesztési szabályok
MSZ EN 10027-1:2006	Acélok jelölési rendszere. 1. rész: Az acélminőségek jele
MSZ EN 10080:2005	Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények
MSZ EN 12390-4:2000	A megszilárdult beton vizsgálata. 4. rész: Nyomószilárdság. Előírások a vizsgálóberendezésekre
MSZ EN 12504-2:2001	A beton vizsgálata szerkezetekben. 2. rész: Roncsolásmentes vizsgálat. A visszapattnási érték meghatározása
MSZ EN ISO 868:2003	Műanyagok és keménygumi. A benyomódásos keménység meghatározása keménységmérővel (Shore-keménység)
MSZ EN ISO 6506-1:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás
MSZ EN ISO 6506-2:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 2. rész: A keménységmérő gépek ellenőrzése és kalibrálása
MSZ EN ISO 6506-3:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 3. rész: A keménység-összehasonlító lapok kalibrálása
MSZ EN ISO 6506-4:2006	Fémek. Brinell-keménységmérés. 4. rész: A keménységértékek táblázata
MSZ EN ISO 6507-1:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás
MSZ EN ISO 6507-2:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 2. rész: A keménységmérő gépek ellenőrzése és kalibrálása
MSZ EN ISO 6507-3:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 3. rész: A keménység-összehasonlító lapok kalibrálása
MSZ EN ISO 6507-4:2006	Fémek. Vickers-keménységmérés. 4. rész: A keménységértékek táblázata
MSZ EN ISO 6508-1:2006	Fémek. Rockwell-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T skálák)
MSZ EN ISO 6508-2:2006	Fémek. Rockwell-keménységmérés. 2. rész: A keménységmérő gépek ellenőrzése és kalibrálása (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T skálák)
MSZ EN ISO 6508-3:2006	Fémek. Rockwell-keménységmérés. 3. rész: A keménység-összehasonlító lapok kalibrálása (A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T skálák)

- MSZ EN ISO 14271:2002 Ellenállás-ponthegesztéssel, vonalhegesztéssel és dudorhegesztéssel készített varratok Vickers-keménységének (kis terhelésű és mikrokeménység-) mérése
- DIN 52108:1947 Prüfung von Naturstein. Abnutzbarkeit durch Schleifen
- DIN 52108:1965 és DIN 52108:1968 Prüfung anorganischer nichtmetallischer Werkstoffe. Verschleissprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme. Schleifscheiben-Verfahren
- EN 10109-1:1996 Metallic materials. Hardness test. Rockwell test (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K) and Rockwell superficial test (scales 15 N, 30 N, 45 N, 15 T, 30 T and 45 T)
- ISO 48:1994 Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of hardness (hardness between 10 IRHD and 100 (RHD))
- ISO 4662 Rubber. Determination of rebound resilience of vulkanizates
- Bognár László: Ásványhatározó. Gondolat Kiadó. Budapest, 1987.
- Láczay-Fritz Oszkár: A természetes építőkövek elmállása és gyors pusztulásának megakadályozása. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda. Budapest, 1930. pp. 27. és pp. 40-41.
- Reznák László: Kő és kohósalakkő. Útlaboratóriumi kézikönyvek. Útügyi Kutató Intézet 35. sz. kiadványa. Budapest, 1965. pp. 51-52. és pp. 107-110.
- Weiss György: Építőipari laboratóriumi mérés technika és műszerismeret. II. kötet. Építésügyi Minőségellenőrző Intézet 25. kiadványa. Építésügyi Tájékoztatási Központ. Budapest, 1974.
- <http://www.freeweb.hu/hmika/Lexikon/Html/Kemenyse.htm>
(Horváth Miklós honlapja)
- http://www.shore.kemenyseghero.hu/shore_kemenyseghero.html
(Absolute Méréstechnika Kft. honlapja)
- <http://www.measureshop.biz/en/measuring-instruments/counters-thermometers-and-stop-watches/hardness-testers/rebound-hardness-tester-sklerograf.html>
- <http://www.smt-messzeuge.de/GR15-02.pdf>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Talkum#Talkum>
- <http://www.debeerscanada.com/>
(De Beers Canada Inc. honlapjáról Faye Logan gyémánt fényképe)
- http://www.tiefbohrlexikon.de/Buchstabe_H/Hartevergleichstabelle/hartevergleichstabelle.html
- <http://www.drahpo.de/de/pdf/anlagen/S11%20Hartevergleichstabelle.pdf>
- http://www.pokolm.de/extra/PDF/d_TEC_19.pdf

<http://www.stahlbecker.de/pdf/haertevergleichstabelle.pdf>

http://www.saarstahl.com/deutsch/produkte/waermebehandlung_eigenschaften/haertevergleich/haertevergleich.htm

http://www.hertsch.ch/1213_tabellen.html

<http://www.litzkuhn-niederwipper.de/deutsch/anwendungstechnik/pdf/haertevergleichstabellen.pdf>

<http://www2.mitutoyo.de/uploads/media/Haertevergleichstabelle.pdf>

http://www.kennametal.com/images/pdf/brands/widia/WIDIA_Technical_GEImm_544-560_2005.pdf

Vissza a

Noteszlapok abc-ben

Noteszlapok tárgykörönként



tartalomjegyzékhez