

Pogonyi István

Roncsolásos anyagvizsgálatok 2. Keménységmérések

 **NSZFI**
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:

Általános anyagvizsgálatok és geometriai mérések

A követelménymodul száma: 0225-06 A tartalomelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-009-20



RONCSOLÁSOS ANYAGVIZSGÁLATOK 2. KEMÉNYSÉGMÉRÉSEK

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A mindennapi életben több olyan kérdés merül fel a gépiparban alkalmazott alapanyagok azonosításával, ellenőrzésével kapcsolatosan, amelyet viszonylag egyszerű módszerekkel meg lehet válaszolni. Az anyagvizsgálattal az anyagok tulajdonságait, minőségét és biztonságos felhasználhatóságát elemezzük, ezáltal információkat szerzünk arról, hogy az adott anyag funkcionális, gazdaságossági és környezetvédelmi szempontból megfelel-e céljainknak. Ennek egyik módszere a keménységvizsgálat.

Önnek a munkavégzése során keménységméréssel kell eldöntenie, hogy:

- a vizsgált munkadarabon elvégezhető-e a tervezett megmunkálás, illetve
- mérési eredmények alapján az alapanyag alkalmas-e a rendeltetésszerű felhasználásra.

Ahhoz, hogy a megfelelő eredményt érje el, de ne okozzon az anyagon felesleges deformációt, alaposan ismernie kell a keménységmérési eljárások sajátosságait és alkalmazhatóságát, s emellett tisztában kell lennie a keménységérő berendezések kezelésével.

Ezeknek az ismereteknek az elsajátításához nyújt segítséget ez a tanulási útmutató.

- *Milyen keménységmérési eljárások vannak, és mely szempontok alapján választjuk ki a legmegfelelőbb eljárást?*
- *Hogyan lehet a különböző eljárások mérési eredményeit összehasonlítani?*
- *Hogyan lehet a keménységi mérőszámokból az anyag szilárdsági tulajdonságaira következtetni?*

Olvassa el a szakmai információkat és a tanulásirányítóban megadott kérdések, feladatok megválaszolásával rögzítse azokat!

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A KEMÉNYSÉGMÉRÉS

A keménységmérés a mai napig az egyik legfontosabb ellenőrzési, mérési eljárás az iparban. A keménységmérés különféle módszerei tájékoztatnak leggyorsabban a fémes anyagok mechanikai tulajdonságairól, az anyag szívósságára viszont ezekből nem lehet következtetéseket levonni.

A keménység definícióját nehéz pontosan megfogalmazni, hisz a „kemény”– „keményebb” kifejezések számos értelmezés hordozói lehetnek. Erre nézve bőségesen találhatunk utalásokat mind az értelmező szótárakban, mind pedig a lexikonokban. Az értelmezés nehézségei kapcsán gondoljunk csak a „kemény sugárzásra”, a víz keménységére, a „karc keménység” fogalmára, a fényképészetben „kemény film” kifejezésekre.

A mechanikai anyagvizsgálatban a **keménység** fogalma alatt a szilárd anyagok azon ellenállását értjük, amelyet a szilárd anyagok kifejtenek a beléjük hatoló, illetve velük kölcsönhatásba kerülő keményebb vizsgálószerszámmal szemben.

Ez a megfogalmazás utal a keménységmérés lehetőségeire, de a keménység konkrét definícióját nem adja meg, ugyanis annyiféle keménység definiálható, ahány vizsgálati módszer létezik.

Tekintettel arra, hogy az anyagoknak egy másik anyag behatolásával szemben kifejtett ellenállása függ a behatoló test alakjától, formájától, sebességétől, a behatoló erő nagyságától, eleve nincs lehetőség egységes keménységi skála megalkotására. Ez a megállapítás még abban az esetben is igaz, ha a keménység fogalmát, azonos alapelvet követve, a terhelő erő és a létrehozott lenyomat területének hányadosával definiálják. Ebből adódóan számos keménységmérési eljárás és a hozzá tartozó keménységi skála került kidolgozásra, bevezetésre. Bár egységes keménységérték nem definiálható, mindezek ellenére az anyagvizsgálatok közül az egyik leggyakrabban alkalmazott anyagminősítési eljárás.

A keménységmérést számos szempont szerint osztályozhatjuk, nézzünk ezek közül egy lehetséges felosztást. A keménységmérés módszereit az alábbi osztályozás szerint jellemezhetjük:

A keménységmérő eljárások osztályozása:

- az alakváltozás létrehozásával mérő (v. klasszikus) eljárások,
- egyéb fizikai hatáson alapuló eljárások.

A keménységmérő eljárások az alakváltozás előidézésének módja szerint lehetnek:

- **szűrő** (statikus) **keménységmérés**: a vizsgálandó anyagnál jóval keményebb, ún. szűrőszerszámot nyomnak alkalmasan megválasztott terhelőerővel az anyagba, és a létrejövő lenyomat területéből, vagy a benyomódás mélységéből származtatják a keménységi értéket,
- **ejtő** (dinamikus) **keménységmérés**: a vizsgálandó anyagra ejtett mérőtest visszapattanási magasságából határozható meg a rugalmas ütközés elnyelt energiájával összefüggő keménységi mérőszám,
- **rezgő keménységmérés**: a vizsgálandó anyagra szorított rezgőfej rezgésben tartásához szükséges energia méréséből fejezhető ki az anyag rezgéscsillapító-képességével (rugalmatlanságának mértékével) összefüggő keménységadat.

Az alakváltozás mérésének módja szerint lehetnek

- lenyomat felüleből származtatott mérőszám,
- benyomódás mélységéből származtatott mérőszám.

Az alkalmazott terhelés módja szerint lehetnek:

- állandó, vagy
- változtatható terheléssel vizsgáló eljárások.

A vizsgálatra kiválasztott felületelem szerint lehetnek:

- makro-, valamint
- mikrostruktúrákat vizsgáló eljárások.

A vizsgálat lefolytatásának hőmérséklete szerint lehetnek:

- Hideg, 0...35 °C, valamint
- meleg (40...900 C) eljárások.

A különböző eljárások jellegzetességeit összefoglalva a következő megállapítások tehetők:

- az eljárások egyik csoportja egy adott nagyságú terhelőerő és az általa létrehozott lenyomat felületének viszonyát tekinti mérőszámnak,
- míg a másik csoport az adott geometriájú szerszám adott erő hatására létrejövő mélységirányú elmozdulását tekinti mérőszámnak.

Miért olyan elterjedt eljárás a keménységmérés?

- mérés gyors, egyszerű,
- a munkadarabon szinte "roncsolásmentesen" elvégezhető,
- az eredményekből kísérletileg meghatározott összefüggések alapján egyéb anyagjellemzőkre is következtethetünk,
- a technológiai folyamatba beilleszthető.

Napjainkban, a gyakorlatban legáltalánosabban az ún. szűrő keménységvizsgáló eljárásokat alkalmazzák. E vizsgálatok során meghatározott alakú és méretű tárgyat ugyancsak meghatározott nagyságú erővel nyomnak a vizsgálandó anyagba. A szűrőkeménységvizsgálatok közül általánosan használt a Brinell-, Vickers- és Rockwell-féle keménységmérő eljárás.

HOGYAN VÁLASZTJUK KI A KEMÉNYSÉGMÉRÉSI ELJÁRÁST?

A vizsgálati eljárás kiválasztásánál többféle szempontot figyelembe kell venni:

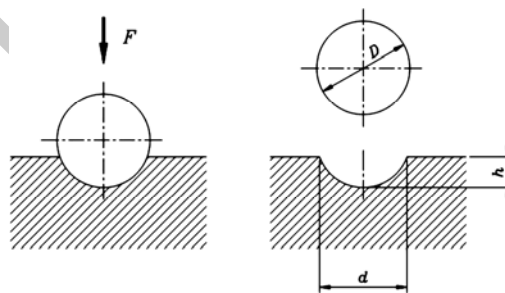
- a vizsgált munkadarab anyagát, méretét, alakját,
- a vizsgálat pontossági követelményeit,
- a munkadarab felületén megengedett sérülés, melyet a vizsgálóeszköz okoz,
- a vizsgált felület megközelíthetőségét,
- vizsgálati körülményeket,
- a vizsgálat idejét.

További fontos szempont lehet a rendelkezésre álló mérőberendezés mérőképessége, dokumentálhatóság, a korábbi eredményekkel való összevetés lehetősége, a gazdaságosság, stb.

A LEGGYAKRABBAN HASZNÁLTOS KEMÉNYSÉGMÉRÉSI ELJÁRÁSOK

1. Brinell keménységmérés

A Brinell-módszer esetén egy D átmérőjű, edzett vagy keményfém, polírozott acélgolyót nyomnak a vizsgálandó munkadarab felületébe, a felületre merőlegesen, meghatározott terheléssel és adott ideig (1. ábra).



1. ábra. Brinell keménységmérés elve

A terhelés hatására egy d átmérőjű, h mélységű, gömbsüveg alakú lenyomat képződik. Az 1. sz. ábra jelöléseivel a gömbsüveg felülete $D \pi h$, ahol D a golyó átmérője, h a gömbsüveg magassága.

Brinell keménységen az F terhelő erő és a lenyomat felületének hányadosát értjük.

Jele: HB

Ezzel a HB-vel jelölt Brinell-keménység:

$$HB = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h}$$

A mértékegységek nemzetközi rendszerének (SI) hatályba lépése óta a benyomódást létesítő erőt N-ban kell mérni, ennek következtében a benyomódás felületének egységére vonatkoztatott keménységértékek, a HB és HV keménységi számok kerekben egy nagyságrenddel nagyobbak lennének a megszokottnál. Azért, hogy ezek ne változzanak meg, a terhelőerőt N-ban mérik, megszorozzák $1/9,80655 = 0,102$ -vel. Az így kiszámított HB és HV értékek megegyeznek a megszokottakkal, amelyeknek kp/mm^2 volt a dimenziójuk. Ezt a dimenziót az új rendszerben nem használják, hanem a keménységet mértékegység nélküli számnak tekintik.

A fentiek alapján tehát:

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot h}$$

ha a terhelő erő, az F értéke N-ban adott.

A gömbsüveg magassága (**h**) közvetlenül nem mérhető, de a golyó átmérőjéből (**D**) és a lenyomat jól mérhető átmérőjéből meghatározható.

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

Ezzel a Brinell keménység kiszámítására az alábbi összefüggés szolgál:

$$HB = \frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{D \cdot \pi (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

MIT KELL MEGVÁLASZTANI ÉS HOGYAN?

A golyó

Mivel a terhelés és a létrejövő gömbsüveg-geometriájú lenyomat felülete egymással nem arányos, a szűrőszerszámot és a terhelést szabványosítani kellett.

A vizsgálathoz használt szabványos golyók 10; 5; 2,5; 2; és 1 mm átmérőjűek. A golyó keménységét szabvány írja elő (850 HV).

A golyó átmérőjét a tárgy vastagsága szabja meg, tekintettel arra, hogy ha vékony lemezeknél nagy átmérőjű golyót használunk, vagy a lenyomat átmérője lesz túlságosan kicsi és így nem mérhető pontosan, vagy pedig ha a golyó túlságosan mélyen hatol be a tárgyba, akkor a keménységmérés eredménye nem lehet pontos, mert a tárgytartó keménysége a mérés eredményét befolyásolja. Éppen ezért a tárgy (próbatest) olyan vastagnak kell lennie, hogy a vizsgálat után a hátoldalon a benyomódás semmilyen alakváltozást ne okozzon. Ennek érdekében a próbatest legkisebb vastagsága a benyomódás mélységének legalább tízszeresének kell lennie.

A golyóátmérőt és a hozzá tartozó terhelést úgy kell megválasztani, hogy a lenyomat átmérője:

$$0,25 D < d < 0,6 D \text{ legyen.}$$

A terhelő erő

A mérendő anyag és a golyóátmérő függvényében választhatjuk meg, úgy, hogy lenyomat d mérete $0,25D$ és $0,6D$ közé essen.

$$F = 9,81 \cdot K \cdot D^2$$

A K terhelési tényező dimenziója N/mm^2 , (amelynek értékeit a szokásos anyagminőségek esetében az 1. sz. Táblázat foglalja össze).

Golyóátmérő	Terhelés F N (F=KxD ² , kp)				
D (mm)	K=30	K=10	K=5	K=2,5	K=1
10	29430 (3000)	9800 (1000)	4900 (500)	2450 (250)	980 (100)
5	7355 (750)	2450 (250)	1225 (125)	613 (62,5)	245 (25)
2,5	1840 (187,5)	613 (62,5)	306,5 (31,2)	153,2 (15,6)	61,6 (6,2)
2	1176 (120)	392 (40)	196 (20)	98 (10)	39,2 (4)
1	294 (30)	98 (10)	49 (5)	24,5 (2,5)	9,8 (1)
Vizsgálható anyagok	acél, nagyszilárdságú ötvözetek, öntöttvas	réz, nikkel és ötvözetek	Alumínium, magnézium és ötvözetek	Csapágy ötvözetek	ón, ólom
HB-keménység	96 ... 450	32 ... 200	16 ... 100	8 ... 50	3,2 ... 20

A zárójelben levő kerek számértékek a terhelőerő SI-rendszert megelőző, kp-ban megadott értéke szerepel, melyet 9,81-el megszorozva (1kp=9,81N) megkapjuk a terhelés N-ban beállítandó értékét.

A Brinell keménység nem független az alkalmazott terhelőerőtől. Ha egy meghatározott átmérőjű golyót különböző nagyságú erővel benyomva az anyagba, nem mindig ugyanazt a HB értéket kapjuk, ezért kell a vizsgálat adatait pontosan előírni.

A mérés időtartama

A Brinell-vizsgálat eredményét a kísérlet időtartama is befolyásolja. Ennek oka az, hogy minden maradó alakváltozásnál az alakváltozás csak egy bizonyos idő után jut nyugalmi állapotba. Ez az idő annál rövidebb, minél lassabban folyt le a terhelés. A Brinell vizsgálatnál a terhelőerőt 0-ról 15 sec alatt növeljük fel a vizsgálatnak megfelelő értékekre, majd a terhelést még egy ideig rajta tartjuk a vizsgálati darabon. Ez az idő az anyag keménységének függvénye, minél keményebb az anyag, az idő annál kisebb. A szokásos értékek:

- | | |
|------------------------------|----------|
| - acél anyagnál | 15 sec |
| - alumínium és réz ötvözetek | 30 sec |
| - szín alumínium, réz | 120 sec |
| - ólom, ón és ötvözetek | 180 sec. |

Az előzőkből következik, hogy a vizsgálat feltételeinek megadásához három adat kell:

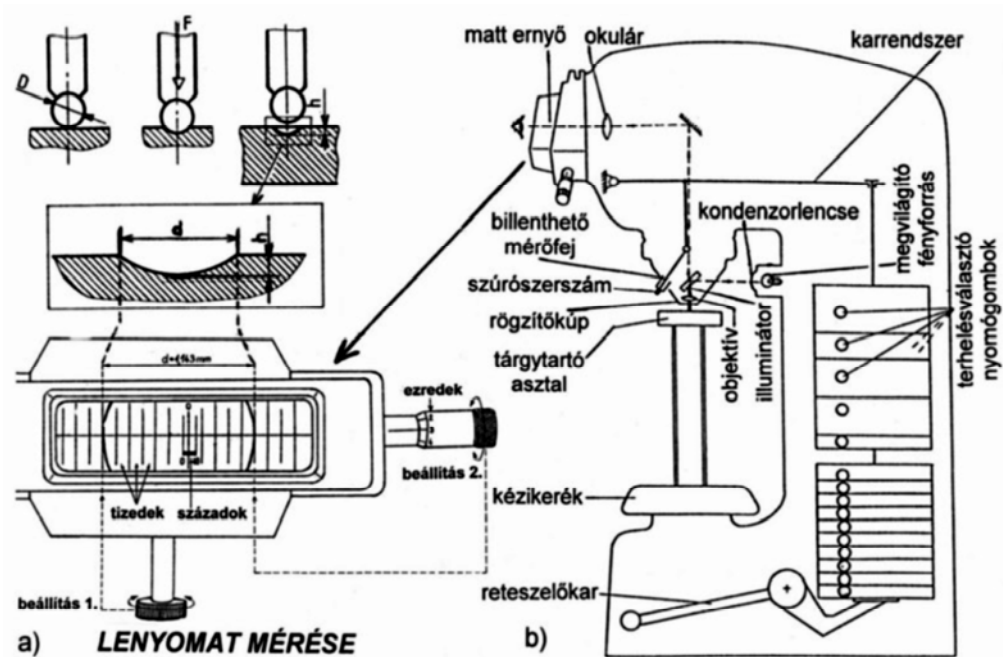
- a terhelőerő nagysága,
- a golyó átmérője és
- az időtartam, amíg a maximális terhelőerő rajta volt a darabon.

Csak azok a keménységmérések adnak egymással teljesen összemérhető értéket, amelyeknél ez a három adat ugyanaz. Ezeket az információkat a keménység megadása tartalmazza pl. 185 HB 5/750/20

A Brinell keménységmérő gép felépítése

A gépek alaptípusai mechanikus súlyterhelésűek vagy hidraulikusak voltak, a terhelés ellenőrzésére mérlegszerűen súlyokat helyeztek el. A ma használatos gépek többnyire kétféle keménységmérési eljárásra is alkalmasak a mérőfej cseréjével. Gyakorik a Brinell-Vickers és a Brinell-Rockwell párosítások.

A 2. ábrán egy Brinell-Vickers-féle keménységmérő gép felépítését, működését tanulmányozhatjuk.



2. ábra. A Brinell-Vickers-féle keménységmérő gép felépítése

- A szűrőszerszámot (Vickers eljárásnál gyémánt gúla, HRC-nél gyémánt kúp) a billenthető mérőfejben rögzítjük.
- A szükséges terhelést a gép oldalán levő terhelésválasztó nyomógombok segítségével választjuk ki.
- A terhelést a karrendszer közvetíti és a szűrőszerszámon keresztül hat a munkadarabra
- A tárgyasztalon lévő munkadarab helyzetét a kézi kerék mozgatásával állíthatjuk be. Addig forgatjuk egyik vagy másik irányba, míg a matt ernyőn meg nem jelenik a tárgy éles képe.
- A rögzítőkúppal a munkadarabot a tárgyasztalra szorítjuk.
- A reteszelőkar felengedésével a szűrőszerszám bebillen az objektív pozíciójába és az anyagba mélyed.
- A reteszelőkar lenyomásával a szűrőszerszám a helyére billen, és az objektív visszatér eredeti helyzetébe.
- A megvilágító fényforrás fényében az objektíven és a nagyító lencserendszeren (okulár) keresztül a lenyomat képe megjelenik a matt ernyőn.
- A lenyomat átmérője (Vickers eljárásnál átlója) a beépített forgatható mérőskálájú mikroszkóppal elolvasható.

A Brinell keménységmérés elvégzése:

- A vizsgálandó anyag (próbatest) előkészítése (pl. köszörülés):
 - felület fémtiszta és oly mértékben sík legyen, hogy a benyomódás átmérőjét kellő pontossággal (0,001 mm) meg lehessen mérni,
 - az előkészítő eljárás okozta hőhatás, vagy hidegalakítás a próbatest keménységét ne befolyásolja.

- azonosító jellel kell ellátni a vizsgálandó anyagot (próbatestet).
- A vizsgálat körülményeinek, paramétereinek meghatározása:
 - A terhelőerő, golyóátmérő, időtartam a vizsgálandó anyag (próbatest) anyagminőségének megfelelő legyen,
 - A környezeti hőmérséklet a vizsgálat során 10...35 °C között legyen.
- Cseréljük ki szükség szerint a szűrőszerszámot (mérőgolyót).
- A mérés végrehajtása:
 - a mérendő munkadarab elhelyezése a tárgyasztalon, a terhelésre merőlegesen és elmozdulás mentesen,
 - a mérendő munkadarabot úgy kell beállítani, hogy a lenyomatok a darab szélétől és egymástól legalább 2,5d – 3d távolságra legyenek
 - a keménység mérés végrehajtása. A szűrőszerszámot lökés és rezgés nélkül, egyenletes terheléssel kell a munkadarabba benyomni.
- A terhelés megszüntetése után a lenyomat két egymásra merőleges átmérőjét (d) mérjük meg a keménységmérő gépre szerelt mérőberendezés segítségével 0,001mm pontossággal. A két érték átlagának, és a terhelő erőnek a függvényében a keménységet táblázatból keressük ki (3. ábra).



3. ábra. A lenyomat mérése Brinell keménységmérésnél

Mérési jegyzőkönyv vezetése:

A HB keménység mérőszáma kis mértékben függ a terhelő erőtől és a golyóátmérőjétől!

Ezért a mért érték mellett fel kell tüntetni a golyóátmérőt, a terhelő erőt és a terhelés idejét, ha az nem $D=10\text{ mm}$ $F= 29430\text{ N}$ és $t=30$ másodperc.

A Brinell keménység megadásakor fel kell tüntetni, pl.:

- a keménység számértékét, pl 250,
- a keménység betűjelét, pl. HBS, vagy HBW,
- a D golyóátmérőt,
- a vizsgálati terhelés jelét (kg-ban megadott terhelés) pl. 187,5,
- a terhelési időt másodpercben, pl. 15,
- a mérés hőmérsékletét, ha az magasabb hőmérsékleten történik, mint 200 °C.

Alkalmazási területe, korlátok:

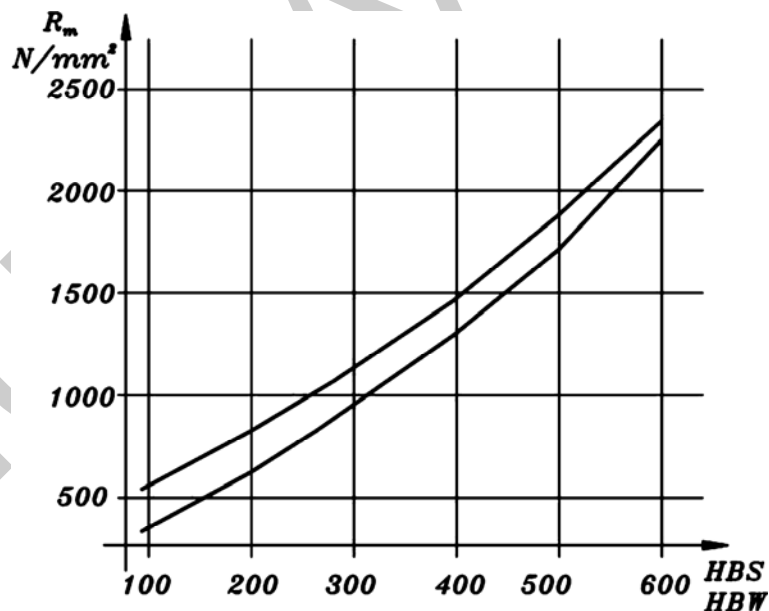
- Elsősorban öntöttvasak, könnyű-és színesfémek, kisebb keménységű, lágyított normalizált acélok mérésére használják.
- A Brinell keménységmérés acél golyó esetén 450 HB-nél keményfém esetén 650 HB-nél keményebb anyagok mérésére nem alkalmas, mert a golyó esetleges deformációja a mérést meghamisítja.
- Nem alkalmas vékony lemezek mérésére, (túl nagy a benyomódás).

Brinell- keménységmérés legnagyobb hibája, hogy az eredményt a vizsgálat körülményei jelentősen befolyásolják. A fontosabb befolyásoló tényezők:

- a golyó átmérője,
- a terhelőerő nagysága,
- a golyóátmérő és a vizsgálat anyag vastagságának viszonya,
- a golyó benyomódásának mértéke,
- a benyomódás ideje,
- a lenyomatok távolsága.

Összefüggés a HB és a szakítószilárdság (R_m) között

Az összefüggés közelítő, célszerű a vasalapú ötvözetek keménységi értékek összehasonlítására szolgáló szabvány használata!



4. ábra. Összefüggés a HB és az R_m értékek között

Egyéb alkalmazások

- Vizsgálat növelt hőmérsékleten.
- Műanyagok keménységvizsgálata.

- Faanyagok keménységvizsgálata.

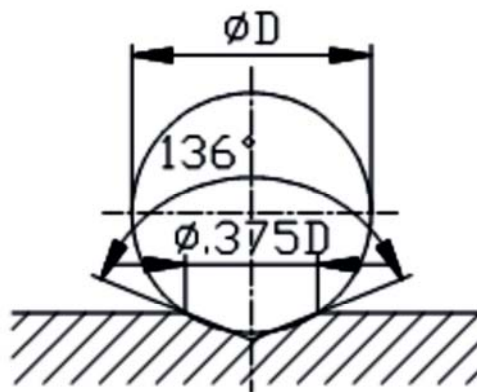
2. Vickers keménységmérés

A Brinell-keménységmérés hibája, hogy a golyó átmérőjétől és a terheléstől függ a HB nagysága és így nem ad eléggé jól összehasonlítható értékeket. Ezen kívül nagyobb keménységű anyagok mérésére a golyó torzulása miatt nem alkalmas.

A Vickers-keménységmérés részben kiküszöböli a Brinell-vizsgálat hibáit:

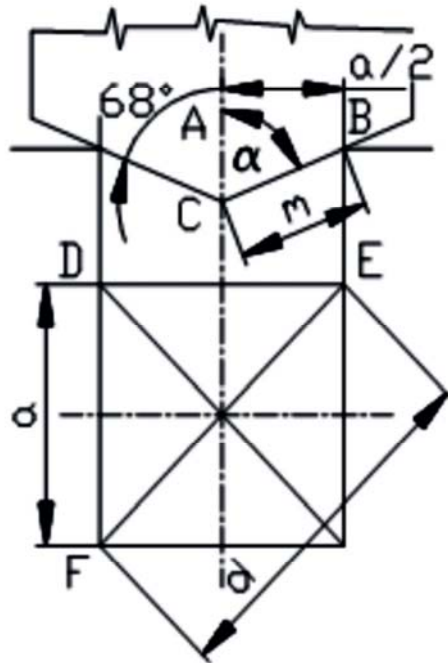
- szűrőszerszáma gyémántból készül és így a legkeményebb anyagok vizsgálatára is alkalmas,
- a szerszám és az alkalmazott terhelés olyan kicsi, hogy alig észrevehető nyomot hagy, ezért legtöbbször kész tárgyak is károsodás nélkül vizsgálhatók,
- a kis terhelés miatt nem töri át a vékony kérget, tehát cementált felületek keménysége is megmérhető vele,
- a lenyomat felülete arányos az erővel és így az alkalmazott terhelés - bizonyos határok között - nem befolyásolhatja a mért keménységi értéket. A 100 - 300 N között különböző terheléssel mért Vickers keménységek (HV) egymás között összehasonlíthatók.

A Vickers keménységméréshez használt szűrőszerszámot úgy alakították ki, hogy a vele mért keménységértékek lehetőség szerint egyezzenek meg a vizsgált darab Brinell keménységével. A Brinell golyó lenyomata $0,25 D \leq d \leq 0,5 D$ értékű, mint leggyakoribb értéket a középértéket $d = 0,375 D$ véve számításba, a gömbhöz a lenyomati kör mentén szerkesztett négyzet alapú gúla lapszöge 136° -nak adódik.



5. ábra. A Vickers-gyémánt lapszögének megállapítása

A Vickers keménységmérés szűrőszerszáma egy olyan négyzet alapú, egyenes gyémánt gúla, amelynek lapszöge 136° .



6. ábra. Vickers szúrószerszám geometriai alakja

Vickers-keménységen a Brinell keménység fogalmához hasonlóan a terhelőerő és a gúla alakú lenyomat felületének viszonyát értjük.

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

A lenyomat felülete az ábra alapján az ABC háromszögből.

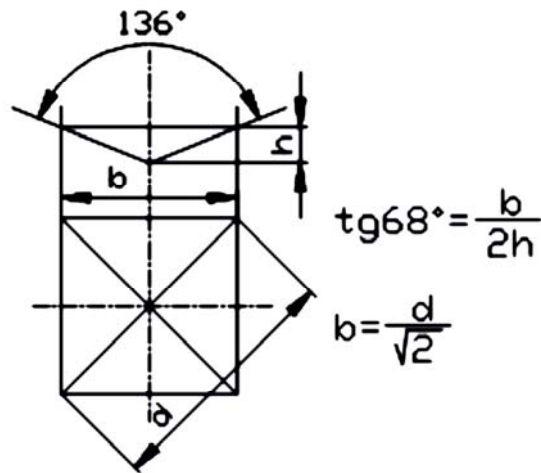
$$m = \frac{a}{2 \cdot \sin \alpha}$$

ezzel

$$S = 4 \cdot \frac{a \cdot m}{2} = \frac{4 \cdot a}{2} \cdot \frac{a}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{a^2}{\sin \alpha} = \frac{d^2}{2 \cdot \sin \alpha}$$

A gyakorlatban azért nem a , hanem d értékével számolunk, mert a lenyomat oldalélek metszéspontja a kivetített képen határozottabban látszik, mint maga az oldal és így d pontosabban mérhető. Azért, hogy az anyag esetleges anizotrópiája a mérés eredményét ne befolyásolja, az egymásra merőleges d_1 és d_2 átlót mérjük, és d ezek számtani közepe:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



7. ábra. Vickers szűrőszerszám lenyomata

Az EDF háromszögből $d^2 = 2a^2$ adja meg a és d között a kapcsolatot: $\alpha = 68^\circ$ így

$$S = \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ} = \frac{d^2}{1,854}$$

Így a terhelőerőt N-ban, d-t mm-ben mérve és biztosítva, hogy a mérőszám megegyezzen a korábban kp/mm^2 -ben megadott értékkel:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{1,854 \cdot 0,102 \cdot F}{d^2} = \frac{0,189 \cdot F}{d^2}$$

Példa HV megadására:

A Vickers keménységet a keménység számértékével és HV betűkkel kell jelölni, ha a terhelés 294 N és a terhelési idő 15 sec.

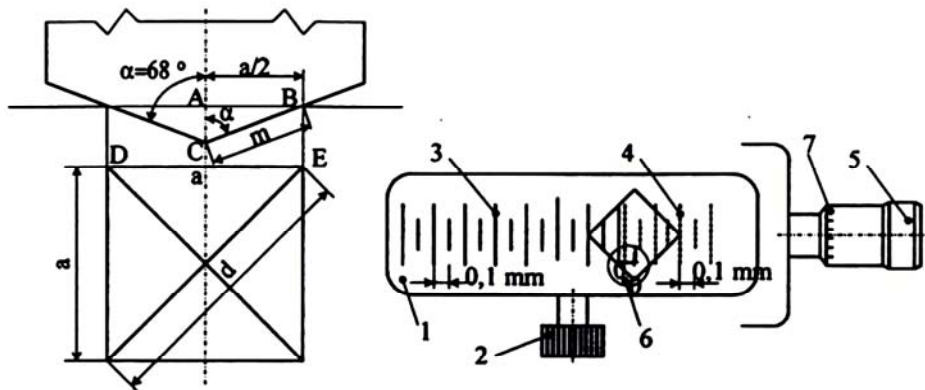
A Vickers keménységmérés elvégzése:

- A vizsgálandó felületet fémesre tisztítjuk (pl. köszörülés). A felület simaságának olyannak kell lennie, hogy a megmunkálási barázdák a leolvasás pontosságát ne rontsák. Kis terhelésű vizsgálatnál a pontos mérés érdekében a felületet tükrösíteni kell. Az előkészítés során – intenzív hűtéssel – akadályozzuk meg, hogy a darab felmelegedjen, és ezáltal keménysége megváltozzon.
- Állítsuk be a mérendő munkadarabot úgy, hogy a lenyomatok a darab szélétől és egymástól legalább $2,5d - 3d$ távolságra legyenek.

- Adjuk rá a terhelést. A terhelő erő 9,8 – 980 N között választható az anyagminőség és a vastagság függvényében. Mivel a terhelés változtatásával a lenyomat felülete közel arányosan változik, ezért a Vickers keménység bizonyos határon belül a terhelő erőtől független.
- A terhelés megszüntetése után a lenyomat két egymásra merőleges átlóját (d) mérjük a keménységmérő gépre szerelt mérőberendezés segítségével 0,001 mm pontossággal (9. sz. ábra). A két érték átlagának, és a terhelő erőnek a függvényében a keménységet táblázatból keressük ki.



8. ábra. Vickers lenyomat



9. ábra. Vickers keménységmérés leolvasás

A Vickers keménységmérési eljárás előnyei:

- bármilyen anyag vizsgálható vele,
- a Vickers keménységmérést görbe felületnél is lehet alkalmazni, de a görbültség függvényében mért értéket korrigálni kell. A gyakorlatban a HV értéket nem számoljuk, hanem táblázatból olvassuk ki az F erő és a d méret függvényében,

- kis lenyomat – vékony réteg vagy fólia is vizsgálható, a kész munkadarabot sem roncsolja. A Vickers-féle keménységmérés sokkal vékonyabb anyagok esetén is használható, mint a Brinell keménységmérés. A vizsgált lemezvastagságot csupán az korlátozza, hogy a vizsgált réteg vastagságának nagyobbnak kell lenni, mint a lenyomat átlójának másfélszerese,
- erőtől, vizsgálati paraméterek megváltozásától független,
- általában laboratóriumi, a legpontosabb mérési eljárásnak tekintik.

A Vickers keménységmérési eljárás hátrányai:

- Ezen eljárás egyetlen hátránya a relatívan hosszú mérési idő, következésképpen tömeggyártásnál nem használható

3. Mikro-keménységmérés Vickers szerint

Az ún. „mikro eljárással” az anyagokból erre a célra készített csiszolatokon, az anyag szövetszerkezetének, összetevőinek, vagy egyes fázisainak keménységértékeit határozhatjuk meg. Az eljárást az alkalmazott kis terhelő erők miatt szokás kisterhelésű Vickers módszernek is nevezni.

A mikrokeménységmérő-műszer, egy mérőmikroszkóp. Az egyik változatánál a 32-szeres nagyítású objektív külső lencséjének közepén 0,8 mm átlójú Vickers gyémánt van rögzítve. A lenyomatátlókat az okulárba beépített mérőskála segítségével határozhatjuk meg. A mérést úgy végezzük, hogy a kiválasztott szemcsét a tárgyasztal mozgatásával az objektív száll-keresztjébe állítjuk, majd az élesre állító csavart a választott terhelésnek megfelelő skálaosztásig csavarva, a gyémántcsúcsot belenyomják a szemcsébe. A lenyomat átlóit a terhelés megszüntetése után lemérik, majd — a műszerhez mellékelt táblázatból kikeresik a mért átlóhoz tartozó keménységértékeket.

A gyakorlatban a mikro-Vickers eljárásnál az alábbi terhelési értékek szokásosak: $F = 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,65; 0,8; 1 \text{ N}$; (Newton) (esetleg 5 N)

Mikro-Vickers eljárás lefolytatásánál figyelembe veendő főbb szempontok

A vizsgálathoz mikroszkópos vizsgálatra alkalmas polírozott és megfelelően maratott csiszolatokat kell készíteni.

A terhelő erő megválasztása a vizsgálatnál kívánt szövetszerkezet, fázis méretétől és várható keménységétől —lenyomatmérettől— függ. Általános szabály nincs. A kis relatív hiba érdekében a nagyobb lenyomat elérésére kell törekedni. Tájékoztatásul: a fémeknek és szilárdoldataiknak keménysége pl: acélban a ferrit 100–200 HVM, a vegyületfázisoké, pl: a karbidoké, nitrideké 1000 HVM körüli érték.

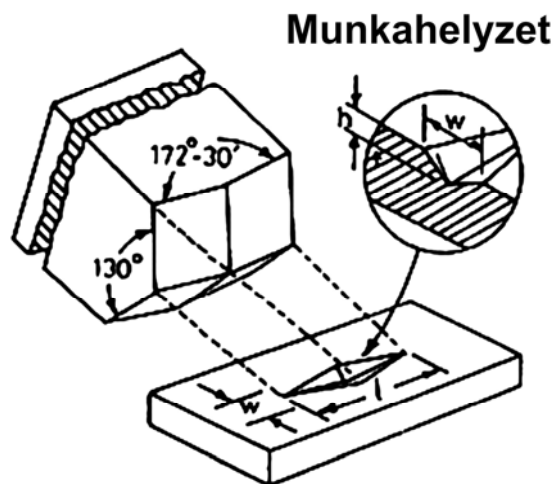
A mikrokeménység-méréssel mért értékek mintegy 10 %-al nagyobbak, a makro- Vickers terheléssel mért mértékeknél (a kis terheléseknél fellépő relatíve nagyobb rugalmas deformáció következtében, illetve szövetszerkezeti hatások miatt).

A keménység mértéke, mérőszám: általában 1600-ig használatos három- vagy négyjegyű szám, mögötte HVM/terhelőerő 0,01N-ban/terhelési idő (s)-ban.

Főbb alkalmazási területe: vékony lemezen, fóliákon, termokémiai eljárással, felületi edzéssel, vagy egyéb módon előállított felületi rétegeken, illetve szövetelemeken végzett vizsgálatok.

Mikro-Vickers mérés módosított gúla alakkal

Legelterjedtebb változata a Knopp-féle módszer, amelynek szűrőszerszáma gyémántgúla (10. sz. ábra). A szűrőszerszám alapterülete a Mikro-Vickers eljárásnál alkalmazott 0,8 (mm) átlójú, gyémánt-gúlával megegyezik. A különbség, hogy a lenyomat felülnézetben nem négyzet, hanem rombusz és az átlók mérete között jelentős különbség van. Az ilyen, nyújtott rombusz alapú gúla kialakítását a heterogén szövetszerkezet pl: az eutektikum fázisainak jobb vizsgálhatósága indokolja. Az F terheléshez tartozó táblázatból a keménység értéke kiolvasható.



10. ábra. Knopp-féle keménységmérés

4. Rockwell keménységmérés

A Vickers-féle keménységmérésnek sok előnye mellett hátránya az, hogy nem eléggé gyors, a gyártósorba iktatott tömeges keménységmérésre nem alkalmas. Erre a célra a Rockwell-féle keménységmérő eljárást dolgozták ki, melynek szűrőszerszáma, vagy gyémántból készült kör alapú egyenes kúp, 120°-os kúpszöggel, vagy edzett acélgolyó (850 HV 10) amelynek átmérője 1,59 mm (illetve pontosan 1/16 angol hüvelyk). A keménység mérőszáma a szűrőszerszám bemélyedésének függvénye és egy mérőórán általában közvetlenül elolvasható.

A szűrőszerszámnak megfelelően a keménység mérőszámok:

- kúp alakú szerszám esetén HRC és HRA eljárás,

- golyó alakú szerszámmal HRB eljárás.

	Rockwell C HRC	Rockwell A HRA	Rockwell B HRB
Szűrőtest	120°-os csúcsszögű gyémántkúp		1/16" (1,5875 mm) átmérőjű acélgolyó
Előterhelés: Fo	98 N (10 kp)		
Főterhelés: F1	1373 N, (140 kp)	490 N, (50 kp)	883 N, (90 kp)
Teljes terhelés F = Fo + F1	1471 N (150 kp)	588 N (60 kp)	980 N (100 kp)
A keménység mérészámának meghatározása	$100 - \frac{e}{0,002}$		$130 - \frac{e}{0,002}$

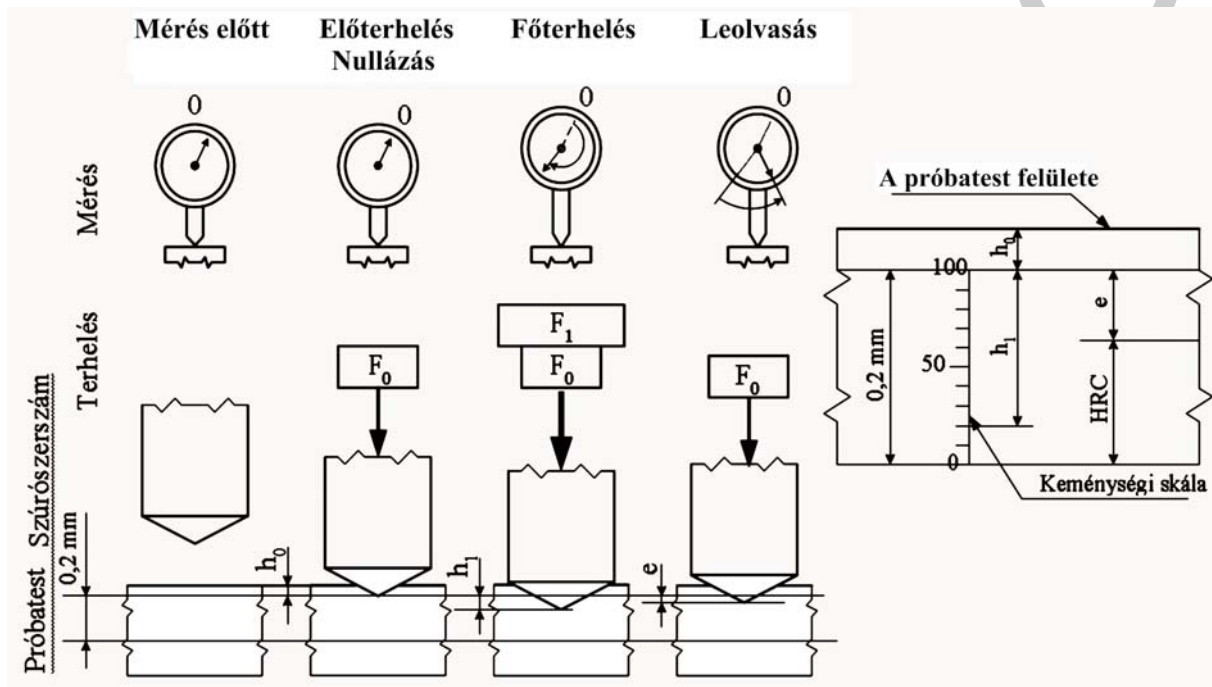
2. 2. táblázat. Rockwell-féle keménységmérési eljárások

A Rockwell keménységmérés elvégzése:

A Rockwell-féle keménységmérés menetét a 11. sz. és a 12. sz. ábra mutatja.

- A munkadarab (próbatest) előkészítése.
- A vizsgálat körülményeinek, paramétereinek meghatározása:
 - a terhelőerőt és a szűrőtestet a vizsgálandó anyag (próbatest) anyagminősége és a várható keménység határozza meg,
 - gyémántkúppal történő mérés előtt a szűrőtestet nagyítóval, mikroszkóppal meg kell vizsgálni, azon sérülés nem lehet.
- A mérés végrehatása:
 - Először a mérendő tárgy felületét a gyémántcsúccsal érintkezésbe hozzuk, majd Fo = 98 N előterhelést adunk rá, ennek hatására a gyémántcsúcs h₀ (mm) mélyen benyomódik a tárgy felületébe. Ennek a benyomódásnak az a célja, hogy a felületi egyenlőtlenségeket kiküszöbölje, a keménység értékének meghatározásában nincs szerepe.
 - A benyomódás mérésére szolgáló mérőóra skálájának 0 pontját a mutatóhoz fordítjuk, azaz a mérőórát nullázzuk,
 - ezután ráadjuk az F₁ = 1373 N főterhelést, mire a gyémántcsúcs h₁ (mm) mélyen benyomódik és ezzel együtt a mérőóra mutatója megfelelően, elfordul,

- a terhelést fokozatosan 6 sec alatt növeljük a maximumra és 30 sec-ig rajta tartjuk a darabon,
 - 30 sec után le vesszük a főterhelést, mire a csúcs a rugalmas benyomódás értékével (h_r) megemelkedik és az óra mutatója ennek arányában visszafordul.
- A Rockwell-keménység meghatározása
- ekkor leolvasható lenne az órán a h_m maradandó benyomódás mértéke mm-ben, viszont a mostában használatos mérőgépeken egyenesen a keménységértéket tudjuk leolvasni mindhárom Rockwell eljárásnál,
 - a próbatest keménysége: minimum két egymást követő mérés számtani középértékének egész számra kerekített átlaga.



11. ábra. A Rockwell C (HRC) keménységmérés menete

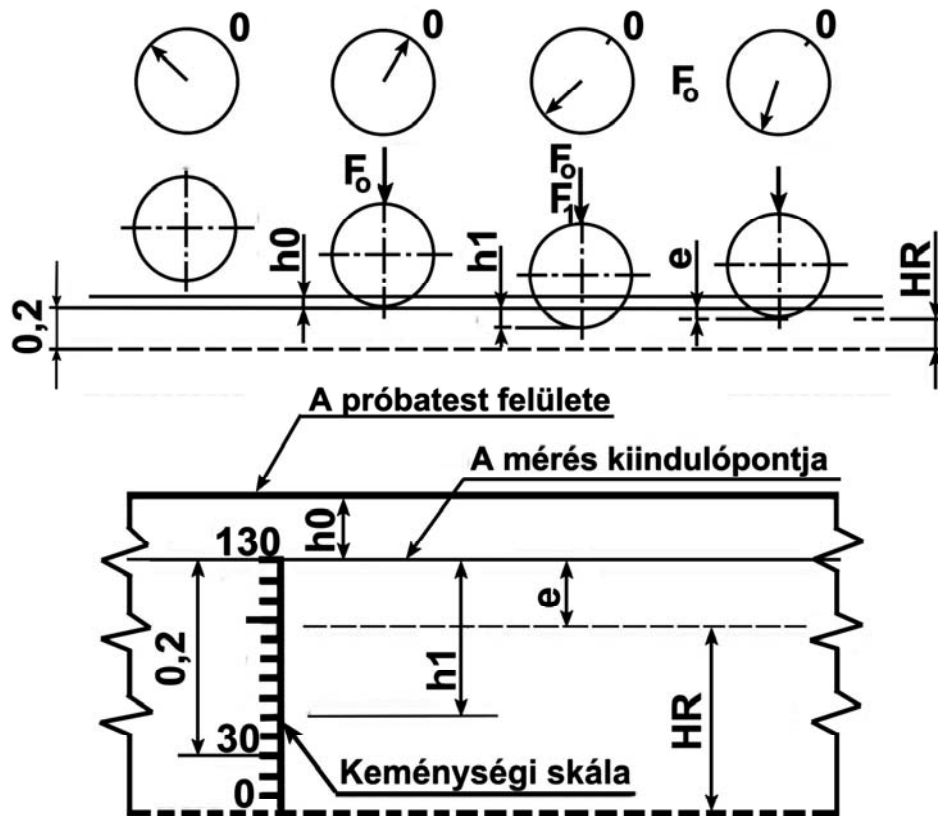
Ezt a benyomódást Rockwell egységekben fejezzük ki:

$$e = \frac{h_m}{0,002}$$

Az így kapott számot levonjuk 100-ból. Azért kell így kifejezni a HRC keménységét, hogy annak növekedésével növekvő értékeket kapjunk. Ha a benyomódást elfogadnánk közvetlenül mérőszámnak, a lágyabb anyagokat jellemeznék nagyobb számok. Eszerint:

$$\text{HRC} = 100 - e$$

A 100 megválasztása nemzetközi megállapodás eredménye. Így az elméletileg elképzelhető abszolút kemény anyag 100 HRC keménységű, azaz $e = 0$.



12. ábra. A Rockwell B keménységmérés menete

A HRB mérésénél gyémántkúp helyett 1,5875 mm (1/16 angol hüvelyk) átmérőjű golyó a szúrószerszám. A mérés menete ugyanaz, mint a HRC-nél. Az eltérések a következők:

- a főterhelés $F_1 = 883 \text{ N}$ (90 kp), vagyis az összterhelés $F = F_0 + F_1 = 98 \text{ N}$ (100 kp),
- a mérőszám kiszámítása pedig a $HRB = 130 - e$ összefüggéssel történik. Ahol e az előbbieken meghatározott érték.

Sem a HRB, sem a HRC, ill. HRA keménységmérés során nincs szükség számolásra, a készülékbe épített mérőórás műszer a műveletet automatikusan elvégzi. A mérés gyorsítása érdekében a mérőóra számlapjára a nyomódás helyett az annak megfelelő HRC, HRB, illetve HRA értékét viszik fel, így az órán 3 mérőskála van. A mérési módszernek megfelelő skáláról a keménység értéke közvetlenül leolvasható.

A Rockwell eljárás jellemzői:

- A gyors, de kisebb pontosságú HRB, ill. HRC és HRA módszer a lassabb (gondosabb felületelkészítést igénylő, hosszabb terhelési idejű), de pontosabb HB, ill. HV módszer helyettesítésére alkalmas, elsősorban gyors ellenőrző és minősítő vizsgálatok esetében.

- A módszer gyorsaságát elsősorban az adja, hogy a benyomódás létesítése és a leolvasás ugyanabban a helyzetben történik, s így kb. 5...10 másodpercet igényel egy-egy mérés.
- Nagyon vékony darabok és rétegek 3 kg-os előterhelés mellett 12, 27 vagy 42 kg főterheléssel vizsgálhatók, mind HRB, mind HRC esetében.
- A Rockwell-vizsgálat természetéből adódik, hogy ugyanazon anyagra vonatkozóan különböző terhelések esetén más-más keménység adódik eredményül, amelyeket egymásba átszámítani nem lehet.
- Minden keménységskálának van egy célszerű alkalmazási területe. A HRB-t csak max, 200 HB keménységű anyagon, HRC-t viszont ennél keményebbeken érdemes mérni.

Mérés jele	Terelés (N)			Keménységszámítás összefüggései	Főbb felhasználási területek
	elő	fő	Összes		
HRA	98	490	588	$HRA = 100 - \frac{e}{0,002}$	Lágyacélok, gyengén ötvözött acélok
HRB	98	883	980	$HRB = 130 - \frac{e}{0,002}$	Lágyabb anyagok, öntöttvasak
HRC	98	1373	1471	$HRC = 100 - \frac{e}{0,002}$	Szerszámacélok, kemény, edzett acélok

Szuper Rockwell keménységmérés

Vékony darabok (lemezek, szalagok) edzett kérgék felületi keménységét Rockwell-eljárással a viszonylag nagy terhelőerők miatt nem lehet mérni. Ilyen mérésre fejlesztették ki a Szuper – Rockwell keménységmérő eljárást.

A mérés a Rockwell-eljárás elve szerint történik, csak a terhelési értékek mások. Az előterhelés:

$F_0 = 29,4 \text{ N}$ (3 kp). Háromféle főterhelést alkalmazhatunk, ezek:

- $F_1 = 117,8 \text{ N}$;
- $F_1 = 265 \text{ N}$; vagy
- $F_1 = 412 \text{ N}$

A szuper-Rockwell egység 0,001 mm. Méréshez a korábban már megismert gyémántkúp, vagy acélgolyó szűrőszerszámot használjuk. A szuper-Rockwell keménység mérőszámának jele kúp alakú szűrő-szerszámmal HR 15 N; HR 30 N; HR 45 N aszerint, hogy az összes terhelés 147 N; 294 N; vagy 441,5 N. Illetve golyó alakú szűrőszerszám esetén HR 15 T; HR 30 T; HR 45 T.

A mérőszám értéke mindkét esetben ugyanúgy számolandó, pl:

HR 15 N = 100-e; HR 15 T = 100-e.

Ezek szerint HR 30 N 60 azt jelenti, hogy gyémánt kúp szúrószerszámmal 294 N összerheléssel mérve a szuper-Rockwell-keménység mérőszáma 60.

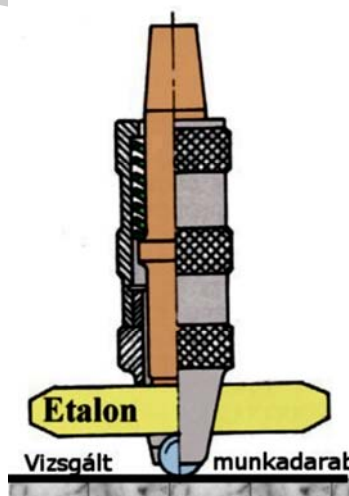
A mérőberendezés a Rockwell mérőberendezés elvén épül fel. A főterhelést 8 sec alatt növeli 0-ról a maximumra és 30 sec-ig tartja rajta a munkadarabon. A mérés gyorsítása érdekében a mérőóra skáláján itt is a keménység mérőszáma van, így az azonnal leolvasható.

Mérés jele	Terelés (N)			Keménységszámítás összefüggései	Főbb felhasználási területek
	elő	fő	Összes		
HRN és HRT	29	118	147	$HRN; HRT = 100 - \frac{e}{0,001}$	Vékony felületi, valamint kéregedett rétegek, melyeket a normál HRC magas terhelőereje tönkretenne
	29	265	294		
	29	412	441		

EGYÉB KEMÉNYSÉGMÉRÉSI ELJÁRÁSOK

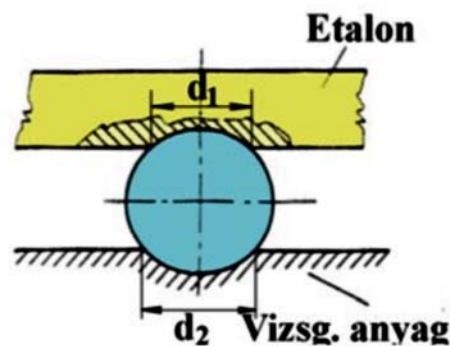
1. Poldi-féle vizsgálati módszer

Elsősorban összehasonlító mérésekre, vas és nemvas fémek és ötvözeteik vizsgálatára alkalmas, de - korlátozott pontossággal - használják abszolút keménységértékek meghatározására is.



13. ábra. Poldi kalapács

A mérés fizikai elve teljes egészében megegyezik a hagyományos Brinell-eljárásnál bemutatottakkal. A Poldi-féle kalapács használatakor, amelynek vázlatát a 13. sz. ábra mutatja, a $D = 10$ mm átmérőjű edzett acélgolyót az ütőtüskére mért erős, határozott ütéssel a vizsgálandó anyagba nyomjuk. Az ütés erejének, ill. energiájának ismerete nem szükséges, mert ugyanaz az ütés egy másik lenyomatot is létrehoz az ismert keménységű összehasonlító etalonpálcán (14. sz. ábra). Egy-egy ilyen négyzetszelvényű pálcán kb. 20–20 lenyomat hozható létre minden oldalon, azaz kb. 80 lenyomat összesen. A munkadarabon és a pálcán keletkezett lenyomatok átmérőit – két, egymásra merőleges irányban, mérőlupával kell leolvasni, tizedmilliméter pontossággal. A vizsgáló golyó alatt elhelyezkedő tárgy, illetve a készülékben lévő – vizsgálat előtt megfelelően pozicionált – etalon ugyanazon külső terhelő erő hatására bekövetkező deformációjából számolható az ismeretlen test keménysége.



14. ábra. Poldi kalapács lenyomatai

Ha d_1 az ismert HB_1 keménységű etalonpálcán létrehozott lenyomat átmérője és d_2 az ismeretlen HB_2 keménységű anyagon keletkezetté, akkor a keresett keménység:

$$HB_2 = HB_1 \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d_1^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_2^2}}$$

Az elméleti levezetés mellőzésével végeredményként kapjuk, hogy az ismeretlen tárgy keménysége, valamint az etalon keménysége közötti arány:

$$\frac{HB_n}{HB_x} = \left(\frac{dx}{dn} \right)^2$$

- HB_n : az alkalmazott etalon keménysége,
- HB_x : vizsgált tárgy keménysége,
- dx : lenyomat-átmérő az ismeretlen keménységű tárgyon,
- dn : lenyomat-átmérő az etalonon.

A Poldi–kalapács mint kéziszerszám kezelhető, és az eredményeket a kalapácshoz mellékelt kézi táblázatból lehet kiolvasni. Ezek az eredmények a Brinell-eljárás értékével nem pontosan egyeznek, de a szórások a gyakorlati alkalmazhatóságot nem befolyásolják.

Szúrószerszámmal végzett dinamikus keménységmérés lefolytatásának főbb szempontjai az alábbiak:

- a dx/dn viszony 0,5 értéknél kisebb tartományba essék,
- a vizsgálattal kapott eredmények a terhelő erőtől függetlenek,
- a lenyomat-étmérőket két egymásra merőleges irányban mért lenyomat-átmérő átlagából kell meghatározni,
- az eljárás elsődleges területe az összehasonlítás, azonban használatos abszolút mérőszámú is abban az esetben, ha a tárgy méretei más, laboratóriumi vizsgálatot nem tesznek lehetővé,
- a vizsgált tárgy méreteivel a vizsgálat körülményeivel kapcsolatban az alábbiak betartása szükséges:
 - a vizsgált tárgyon keletkezett lenyomat annak hátoldalán nem hagyhat nyomot (vékony lemezek vizsgálata nem végezhető ezzel az eljárással),
 - a vizsgált tárgy tömegének megfelelően nagyoknak kell lennie ahhoz, hogy a lenyomat értékelhető legyen,
 - ha a vizsgált tárgy felületére helyezett vizsgáló szerszám eltér a merőlegetől, jelentős a mérési hiba.

2. Helyszíni keménységmérés dinamikus módszerrel

A hordozható keménységmérő készülék dinamikus elven működik. Az ütőmű meghatározott rúgóerővel a vizsgálandó felületre pattintja a "kalapácsot". A készülék elektromágneses úton méri a kalapács ütközési és visszaverődési sebességét, amely adott anyagtípust figyelembe véve kapcsolatba hozható a keménységgel. A mért keménység értéket a készülék LCD kijelzőjéről lehet leolvasni. Szoftveresen megoldott, hogy a keménység értéket HS, HB, HV, HRC vagy HRB értékben is megjeleníthetjük.

A vizsgálatot a mérési helyek előkészítésével kezdjük. A mérés megkezdése előtt etalon felhasználásával beállítjuk a készüléket. A méréshez az ütőművet stabilan a mérési pontra illesztjük, majd elvégezzük a mérést. Egy adott mérési ponton általában 3 ütés eredményét átlagoljuk.

Hegesztési varratok keménységmérése esetén általában mérési síkonként 3–5 ponton mérünk (Alapanyag₁ – Hőhatásövezet₁ – Ömledék – Hőhatásövezet₂ – Alapanyag₂). A varrat méretétől és a vizsgálati feladattól függően varratonként általában 1 – 3 síkban érdemes elvégezni a mérést.

A dinamikus mérési elvből következően a kis tömegű és/vagy kis falvastagságú ($s < 5\text{mm}$) mintákon való mérés az ütés közben fellépő rezgések miatt hibás eredményre vezethet. Ezért, ha a vizsgálandó tárgy súlya 5 kg alatti, akkor gondoskodni kell a mérés helyén a megfelelő tömegű stabil alátámasztásról. Hasonlóan kell eljárni kis falvastagságú vizsgálati tárgyak mérésénél is. Egészen kisméretű, síkfelületű mintákat csatolóanyag segítségével megfelelő tömegű alaplemezre kell "letapasztani" úgy, hogy ne maradjon köztük légréteg. A mérendő felület görbületi sugara a mérés helyén legalább 30 mm legyen.

Tompa varratok keménységmérése esetén a hőhatásövezet vizsgálata általában csak a korona és az alapanyag helyi síkbamunkálása után végezhető el. Kisméretű sarokvarratok esetén a hőhatásövezet nem mindig vizsgálható a hozzáférési problémák miatt.

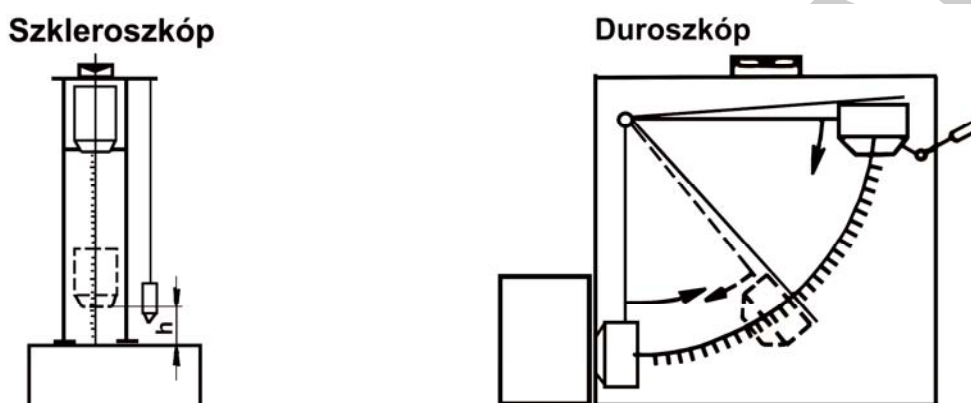
Különböző fémek helyszíni keménységmérésére abban az esetben alkalmas, ha a telepített készülékek alkalmazására nincs lehetőség (pl. túl nagy a minta mérete, beépített szerkezetek, hegesztési varratok hőkezelés utáni vizsgálata, stb.) A méréshez a mérési pontot kb. $\varnothing 10\text{ mm}$ -es területen fémtisztára kell tisztítani, úgy hogy a felület érdessége $Ra < 10\text{ mm}$ legyen. Ennél nagyobb felületi érdesség hibás mérési eredményre vezethet. A vizsgálati felületnek mindig szennyeződés- (olaj, zsír, piszok stb.) és rozsdamentesnek, valamint száraznak kell lennie. A vizsgálati felület görbülete, a mérés helyén nem lehet kisebb 30 mm-nél. Ennél kisebb sugarú görbült felületek mérése esetén, a mérés helyén legalább $\varnothing 10\text{ mm}$ -es síkfelületet kell kialakítani. A vizsgálatot zavaró körülményektől mentes (por, nedvesség), környezetben $-15\text{ }^\circ\text{C} - +50\text{ }^\circ\text{C}$ közötti hőmérséklet-határok között lehet elvégezni.



15. ábra. Dinamikus keménységvizsgáló eszköz digitális kijelzéssel

3. A Shore-féle ejtő keménységmérés

A Shore-féle keménységmérést szkleroszkóppal vagy duroszkóppal végzik (15. sz. ábra). A szkleroszkópos mérés elve az, hogy egy lekerekített gyémántcsúcsos, adott tömegű (2,5 g; 20 g) ejtőkalapácsot meghatározott h magasságból (10" = 256 mm-ről; 4,5" = 112 mm-re) pontosan függőlegesen a mérendő tárgyra ejtenek. A kalapács visszapattanási magasságát függőleges vagy kör alakú skálán kell leolvasni. Duroszkóp esetében a golyó alakú gyémántbetét egy ingakalapács fejére van erősítve. Az ejtőkalapács meghatározott magasságból a munkadarabra sújt, majd a visszapattanása során egy elforduló mutatót vonszol magával, mely a kilendülés szélső pontján marad. A mutató előtt elhelyezett skálán leolvasható érték az illető anyag duroszkóppal mért Shore-keménysége.



16. ábra. Shore keménységmérők

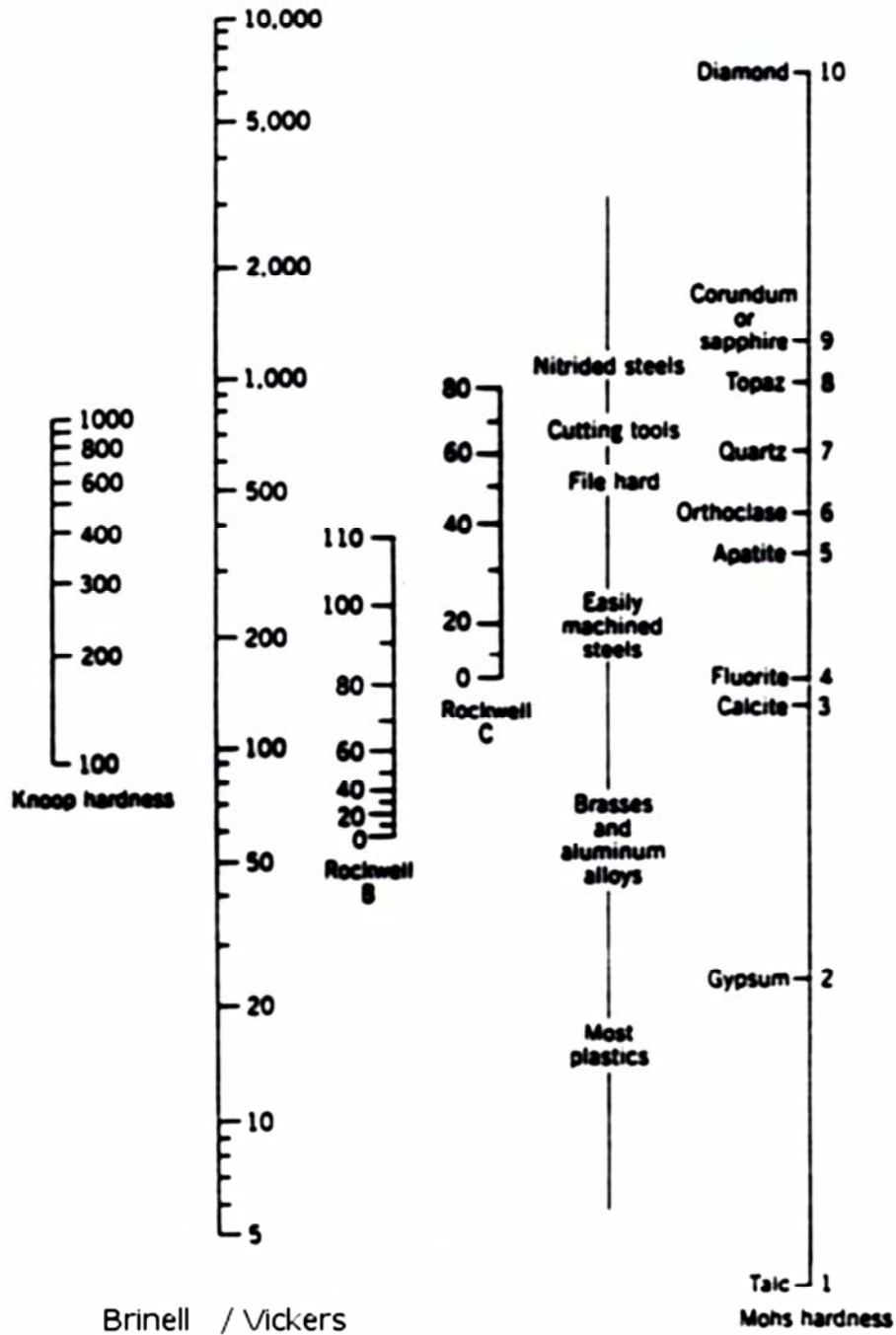
KEMÉNYSÉGMÉRÉSI ELJÁRÁSOK MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A gyakorlat során előfordulhat, hogy a megadott keménységi mérőszámmal és jellemzővel megadott munkadarab felületi keménységének méréséhez nem áll rendelkezésre csak másik módszer, viszont szükség lenne a mért és az előírt értékek összehasonlítására. Az előzőekben ismertetett keménységmérési módszerekkel meghatározott keménység értékek táblázatok és nomogramok segítségével egymásnak megfeleltethetők, vasötvözetek esetén. A Brinell-keménységek 10 mm átmérőjű acélgolyóra, a Vickers-keménységek 5 kg-nál nem kisebb terhelésre vonatkoznak. A Brinell- és a Vickers-keménységek között fennáll, hogy $HB = 0,95 HV$

Keménységskálák összehasonlítása

HB	HV	HRB	HRC	HB	HV	HRB	HRC	HB	HV	HRB	HRC
76,0	80	-	-	233	245	-	21,3	(485)	510	-	49,8
80,7	85	41,0	-	238	250	99,5	22,2	(494)	520	-	50,5
85,5	90	48,0	-	242	255	-	23,1	(504)	530	-	51,1
90,2	95	52,0	-	247	260	(101)	24,0	(513)	540	-	51,7
95,0	100	56,2	-	252	265	-	24,8	(523)	550	-	52,3
98,8	105	-	-	257	270	(102)	25,6	(532)	560	-	53,0
105	110	62,3	-	261	275	-	26,4	(542)	570	-	53,6
109	115	-	-	266	280	(104)	27,1	(551)	580	-	54,1
114	120	66,7	-	271	285	-	27,8	(561)	590	-	54,7
119	125	-	-	276	290	(105)	28,5	(570)	600	-	55,2
124	130	71,2	-	280	295	-	29,2	(580)	610	-	55,7
128	135	-	-	285	300	-	29,8	(589)	620	-	56,3
133	140	75,0	-	295	310	-	31,0	(599)	630	-	56,8
138	145	-	-	304	320	-	32,2	(608)	640	-	57,3
143	150	78,7	-	314	330	-	33,3	(618)	650	-	57,8
147	155	-	-	323	340	-	34,4		660	-	58,3
152	160	81,7	-	333	350	-	35,5		670	-	58,8
156	165	-	-	342	360	-	36,6		680	-	59,2
162	170	85,0	-	352	370	-	37,7		690	-	59,7
166	175	-	-	361	380	-	38,8		700	-	60,1
171	180	87,1	-	371	390	-	39,8		720	-	61,0
176	185	-	-	380	400	-	40,8		740	-	61,8
181	190	89,5	-	390	410	-	41,8		760	-	62,5
185	195	-	-	399	420	-	42,7		780	-	63,3
190	200	91,5	-	409	430	-	43,6		800	-	64,0
195	205	92,5	-	418	440	-	44,5		820	-	64,7
199	210	93,5	-	428	450	-	45,3		840	-	65,3
204	215	94,0	-	437	460	-	46,1		860	-	65,9
209	220	95,0	-	447	470	-	46,9		880	-	66,4
214	225	96,0	-	(456)	480	-	47,7		900	-	67,0
219	230	96,7	-	(466)	490	-	48,4		920	-	67,5
223	235	-	-	(475)	500	-	49,1		940	-	68,0
228	240	98,1	20,3								

17. ábra. HB, HV, HRB é HRC összehasonlító táblázat



18. ábra. A különbözőanyagok keménységi értékei

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Olvassa el a keménységmérések című szakmai információkat, majd foglalja össze az alábbi kérdésekre a válaszokat!

- Mit értünk a keménység fogalma alatt?

- Sorolja fel, hogyan csoportosítjuk a keménységmérő eljárásokat az alakváltozás előidézésének módja szerint!
- Sorolja fel a statikus keménységmérő módszereket!
- Mi alapján választjuk meg a keménységmérési eljárást és mérőeszközt?
- Milyen szúrószerszámmal végezhető a Brinell keménységmérés?
- Hogyan számítható ki a Brinell keménység?
- Hogyan működik a Brinell- Vickers keménységmérő gép?
- Rajzolja le a Vickers keménységmérő módszer szúrószerszámát!
- Hogyan határozható meg a Vickers keménység?
- Milyen terhelési tartományok határozhatók meg a Vickers keménységmérésnél?
- Írja fel, hogyan számolja a Poldi mérés során a keménységet!
- Mekkora az előterhelés és a főterhelés értéke Rockwell keménységmérésnél?
- Milyen szakaszai vannak a Rockwell keménységmérésnek?
- Hogyan határozza meg a Rockwell mérések során a keménységet?
- Definiálja az előterhelő erőt! Melyik eljárásnál alkalmazzák?
- Hány HB keménységig alkalmazhatjuk a Brinell mérést?
- Hány HB keménységig érdemes a HRB vizsgálatot használni?
- Milyen lenyomat keletkezik a Brinell mérés során, és mit mér le?
- Milyen dinamikus keménységmérő eljárásokat ismer és mi a lényegük?
- Sorolja fel, milyen eszközökkel végezhetjük a Shore mérést!

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Definiálja a keménységet (szúrókeménység mérés esetén)!

2. feladat

Sorolja fel a dinamikus keménységmérő módszereket!

3. feladat

Rajzolja le a Brinell keménységmérő módszer szerszámát!

4. feladat

Rajzolja le a Rockwell C keménységmérő módszer szerszámát!

5. feladat

Sorolja fel, melyek a befolyásoló tényezők a Brinell mérés során!

6. feladat

Melyik anyaggal tudjuk lemérni az összes ismert anyag keménységét?

7. feladat

Lapozzon vissza a "Keménységmérési eljárások mérési eredményeinek összehasonlítása" fejezetponthoz. A táblázat felhasználása segítségével adja meg a 130HB keménységet HV keménységben!

8. feladat

Sorolja fel a fel a tanult szűrőkeménység mérő módszereket!

9. feladat

Hány HB keménységű anyagoknál használjuk a HRC vizsgálatot?

10. feladat

Milyen lenyomat keletkezik a Vickers mérés során, mit mér le?

11. feladat

Milyen összefüggés van a terhelőerő és a golyóátmérő között Brinell keménységmérésnél?

12. feladat

Milyen megfontolásból lett a Vickers keménységmérés szúrószer száma 136°-os laphoz?

13. feladat

Milyen fémek mérésére alkalmazható Vickers keménységmérés?

14. feladat

Értelmezze a következő keménységmegadást: 135 HBS 5/250/30?

15. feladat

Ismertesse a Brinell keménységmérésnél a HB érték kiszámítását!

MEGOLDÁSOK

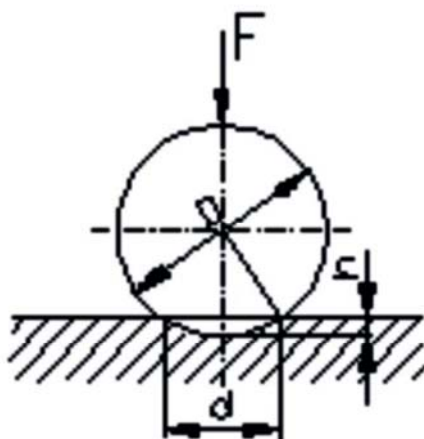
1. feladat

A mechanikai anyagvizsgálatban a **keménység** fogalma alatt a szilárd anyagok azon ellenállását értjük, amelyet a szilárd anyagok kifejtnek a beléjük hatoló, illetve velük kölcsönhatásba kerülő keményebb vizsgálószerszámmal szemben.

2. feladat

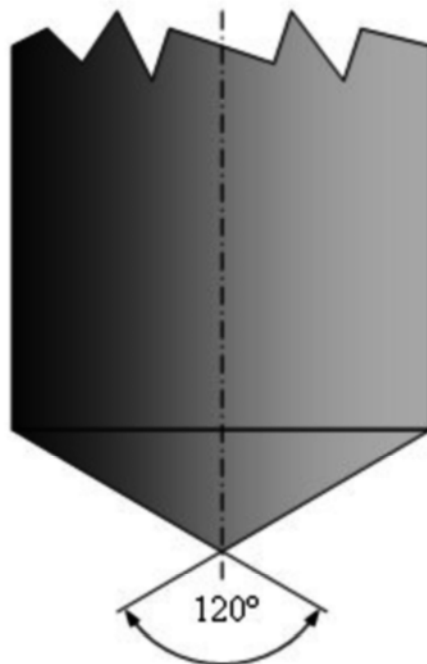
Poldi-féle keménységvizsgálat
Helyszíni keménységmérés
Shore-féle ejtő keménységmérés

3. feladat



19. ábra. Brinell keménységmérő módszer szerszáma

4. feladat



20. ábra. A Rockwell C keménységmérő módszer szerszáma

5. feladat

a golyó átmérője, a terhelőerő nagysága, a golyóátmérő és a vizsgálat anyag vastagságának viszonya, a golyóátmérő és a vizsgálat anyag vastagságának viszonya, a benyomódás ideje, a lenyomatok távolsága

6. feladat

gyémánt

7. feladat

Arányosítani kell a táblázatban szereplő 133 és 128 közé esik a feladatban megadott 130HB érték. A hozzájuk tartozó HV értékek 135 és 140.

$$130HB = \frac{HB - HB_{\min}}{HB_{\max} - HB_{\min}} \times (HV_{\min} - HV_{\max}) + HV_{\min} = \frac{130 - 128}{133 - 128} \times (140 - 135) + 135 = 137HV$$

$$130 HB = 137 HV$$

8. feladat

Rinell, Rockwell, Vickers

9. feladat

230HB-nál nagyobb keménységű anyagok esetén

10. feladat

Négyzet alapú gúla lenyomat keletkezik. A lenyomat két egymásra merőleges átlóját (d) mérjük.

11. feladat

$$F = 9,81 \cdot K \cdot D^2$$

12. feladat

A Vickers keménységméréshez használt szűrőszerszámot úgy alakították ki, hogy a vele mért keménységértékek a lehetőség szerint egyezzenek meg a vizsgált darab Brinell keménységével. A Brinell golyó lenyomata $0,25 D \leq d \leq 0,5 D$ értékű, mint leggyakoribb értéket a középértéket $d = 0,375 D$ véve számításba, a gömbhöz a lenyomati kör mentén szerkesztett négyzet alapú gúla lapszöge 136° -nak adódik

13. feladat

bármilyen anyag vizsgálható vele

14. feladat

135 – keménységérték 135

HBS – Brinell eljárással, acélgolyóval mért érték

5 – 5 mm-es mérőgolyó

250 – a vizsgálati terhelés kg-ban

30 – a terhelési idő (másodpercben)

15. feladat

Ha a vizsgált munkadarab felületébe – a felületre merőleges erővel – golyó alakú szűrőszerszámot nyomunk, a keletkezett lenyomat gömbsüveg lesz. Az ábra jelöléseivel a gömbsüveg felülete $D \pi h$, ahol D a golyó átmérője, h a gömbsüveg magassága.

Ezzel a HB-vel jelölt Brinell-keménység:

$$HB = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h}$$

A számítás a következőképpen változik az F-erő N-ban való megadása és a gömbsüveg magasságának kiszámítása (h) után:

$$HB = \frac{2 \cdot 0,102 \cdot F}{D \cdot \pi (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

MUNKKANYAG

IRODALOMJEGYZÉK**FELHASZNÁLT IRODALOM**

Bagyinszki Gyula – Galla Jánosné – Harmath József – Jurcsó Péter – Kerekes Sándor–Tóth László: Mérési gyakorlatok – KIT Képzőművészeti Kiadó és Nyomda Kft – Budapest 1999

Benki Lajos: Alapmérések II. (Anyagvizsgálatok)– Budapest, 2000

Frischherz – Skop: Fémtechnológia 1.- B+V Lap- s Könyvkiadó; Budapest, 1997

Gregor Béla – Simon Győző: Műszaki mérések – Műszak Könyvkiadó – Budapest; 2004

Nádasy Ferenc: Alapmérések – Anyagvizsgálatok – Nemzeti Tankönyvkiadó – Budapest; 2001

Dr. Csizmadia Ferencné – Mechanikai tulajdonságok Statikus igénybevétel – PP prezentáció – KGF; 2010
(http://www.banki.hu/~aat/oktatas/mechatronika/mernany/1_4anyagtulajdonsagok.ppt)

Varga Ferenc – Tóth László – Guy Pluvinage: Anyagok károsodása és vizsgálata különböző üzemi körülmények között – Keménységmérés – Miskolci Egyetem – Miskolc; 1999 – (<http://edu.bzlogi.hu/mtesting/szoftverek/kemenys.pdf>)

Dr. Bitai Enikő: Anyagismeret 2 – Sapiientia EMTE; Marosvásárhely, 2009
(http://www.ms.sapiientia.ro/www/index2.php?option=com_docman&gid=726&lang=hu&task=doc_view&Itemid=868)

AJÁNLOTT IRODALOM

Nádasy Ferenc: Alapmérések – Anyagvizsgálatok – Nemzeti Tankönyvkiadó – Budapest; 2001

Bagyinszki Gyula – Galla Jánosné – Harmath József – Jurcsó Péter – Kerekes Sándor–Tóth László: Mérési gyakorlatok – KIT Képzőművészeti Kiadó és Nyomda Kft – Budapest 1999

Benki Lajos: Alapmérések II. (Anyagvizsgálatok)– Budapest, 2000

Gregor Béla – Simon Győző: Műszaki mérések – Műszak Könyvkiadó – Budapest; 2004

A(z) 0225-06 modul 009-es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
31 521 02 0000 00 00	CNC-forgácsoló
31 521 09 1000 00 00	Gépi forgácsoló
31 521 09 0100 31 01	Esztergályos
31 521 09 0100 31 02	Fogazó
31 521 09 0100 31 03	Fűrészipari szerszámélező
31 521 09 0100 31 04	Köszörűs
31 521 09 0100 31 05	Marós
33 521 08 0100 31 01	Székforgácsoló
33 521 08 0000 00 00	Szerszámkészítő

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:

30 óra

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató