KEMÉNYSÉGMÉRÉS

Elméleti áttekintés

A korai keménységmérési eljárások (1822) a természetes ásványokon alapultak, mégpedig azon a jelenségen, hogy a keményebb anyag karcolta a lágyabbat. Meghatározott anyagok ezen tulajdonságát sorba rendezve az úgynevezett Mohs-skála adódik, amelynek tetején a gyémánt található (keménységindexe 10), míg a skála alján a zsírkő helyezkedik el (keménységindexe 1). A bázisnak választott ásványokkal elvégezve a karcolási tesztet, az adott anyag viszonylag egyszerűen besorolható két ásvány közé (az egyik ásványt az adott anyag már nem karcolta, a Mohs-skálán alatta elhelyezkedő ásványt pedig már igen). A pontosabb, mennyiségi vizsgálatok a későbbiek során alakultak ki, amelyek adott geometriájú (nagy keménységű) behatolótestet definiált körülmények között (erőhatás, sebesség, időtartam) a mérendő anyagból készült próbatest felületébe kell nyomni. A behatolótest által okozott képlékeny alakváltozás nyomát lemérve, egyszerű összefüggésekkel meghatározható a keménységre jellemző számérték, amely relatív mennyiség, ami azt jelenti, hogy pontosan csak az azonos eljárással meghatározott mennyiségek hasonlíthatók össze.

A többi mechanikai anyagvizsgálathoz képest, a keménységmérési eljárások:

- egyszerű, viszonylag gyors eljárások, valamint a próbatest előkészítése általában nem igényel különleges módszert.
- alapvetően roncsolásmentes eljárásokról van szó, mivel a keménységmérés minimális felületi nyomot hagy a darabok felületén.
- más mechanikai tulajdonságok is származtathatók a keménységmérési adatokból.

A keménységmérő eljárásokat az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- Statikus mérések: Brinell-, Vickers-, Knoop-, Rockwell-eljárások
- Dinamikus mérések: Poldi-eljárás, Szkleroszkóp, Duroszkóp
- Különleges mérések: Műszerezett mérés

Statikus mérések

Brinell-eljárás

A keménységmérés során keményfémből készített golyót kell *F* erővel a próbatest előkészített és síknak tekinthető felületébe nyomni (1. ábra). A mérőszerszám által okozott lenyomatról feltételezhető, hogy egy gömbsüveg (2. ábra). A Brinell-keménységmérés mérőszáma a terhelőerő és a lenyomat felületének a hányadosa:

$$HBW = \frac{F}{D\pi h}$$

ahol *D*- golyóátmérő (mm), *F*- a terhelő erő (kp). Mivel a fenti keménységdefiníció megfogalmazásakor a geometriai adatokat mm-ben az F terhelőerőt kp-ban mérték (ma N-ban) az azóta eltelt időszakban óriási adatmennyiség halmozódott fel, és azért hogy a régebben és a ma mért adatok könnyen összevethetők legyenek, a fenti képletet az alábbi alakban használjuk:

$$HBW = \frac{0{,}102F}{D\pi h} = \frac{0{,}204F}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

ahol *D*- golyóátmérő (mm), *h*- gömbsüveg magassága (mm), *d*- a gömbsüveg átmérője (mm) és *F*- a terhelő erő (N). A kp és N közötti átváltás:

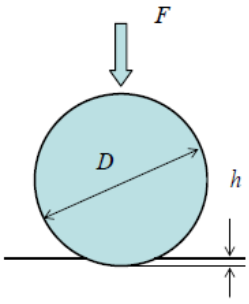
$$1(kp) = 1(kg)\cdot 9{,}81\left(\frac{m}{s^2}\right) = 9{,}81(N)$$

Ebből kifejezhető:

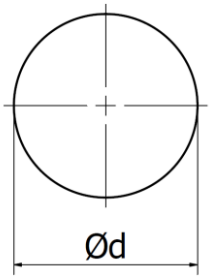
$$1(N) = 0{,}102(kp)$$

Mivel az 1 kp, az 1 kg tömegű test súlyát adja meg. A következőkben ismertetésre kerülő eljárásoknál, szintén ezt az átváltást alkalmazom részletesebb magyarázat nélkül.

A vizsgálattal foglalkozó szabványok pontos előírást tartalmaznak a méréshez használt golyók méretére (1-10 mm), a terhelő erőre (9,807 N – 29,42 kN), a vizsgálat időtartamára és a próbatest minimális vastagságára vonatkozóan. Ezeket az adatokat jelen segédlet nem tartalmazza, a vonatkozó szabvány családban (MSZ EN ISO 6506:2006) lelhetők fel.



1. ábra A Brinell mérés elrendezése



2. ábra A Brinell mérés lenyomata

A Brinell mérés során azonos anyag vizsgálatakor is különböző számértéket kaphatunk eredményül. Jellegzetes a terhelőerőnek a mérés eredményére gyakorolt hatása (3. ábra). Egy megadott átmérőjű golyóval különböző nagyságú erővel végezve a kísérleteket, a kapott lenyomatok és a terhelő erő közötti kapcsolat

$$F = ad^n$$

alakban adódik, amelyet Meyer-féle hatványtörvénynek nevezünk. Az a és n paraméterek, anyagtól függő állandók. A kísérleti eredmények alapján n értéke különböző anyagokra különböző és általában 1,8-2,4 közé adódik. Az erő kifejezését az visszahelyettesítve az alábbi egyenletet kapjuk:

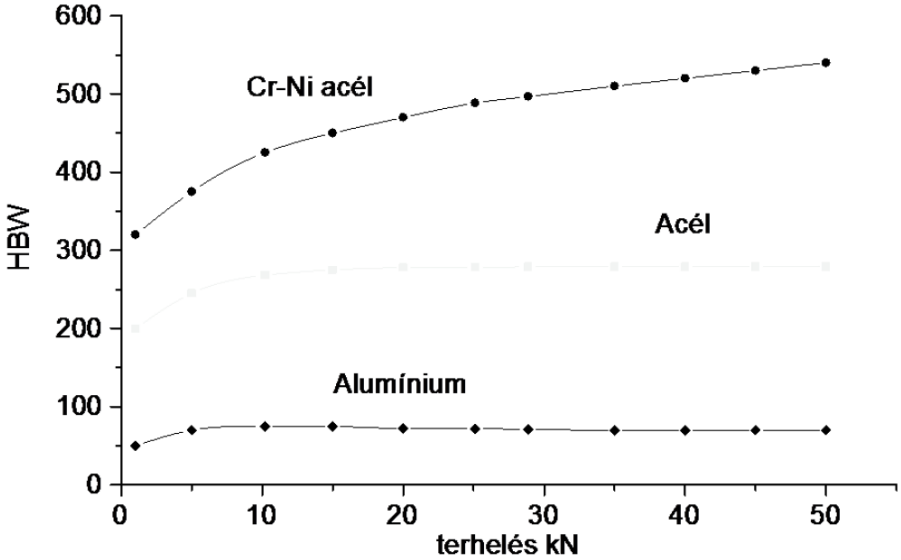
$$HBW = \frac{0,204F}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - \left(\frac{F}{a}\right)^{\frac{2}{n}}}\right)}$$

amiből látható, hogy az F érték nem esik ki az egyenletből, tehát a keménység értéke az erőtől függő érték. Amiatt, hogy egyértelmű legyen a keménység megadása a számértéket a $HBW/D/F/t$ (Brinell-keménységérték/ golyóátmérő (mm) / terhelőerő (kp) / terhelés időtartama (s)) jelölés követi. Például a 120 HBW/10/3000/10 jelölés azt jelenti, hogy a vizsgált anyag keménysége 120 volt, melyet egy 10 mm átmérőjű keményfém golyóval mértek, 3000 kp terheléssel és 10 másodperces terheléssel.

Az előre kiválasztott golyóátmérőhöz (1 mm, 2,5 mm, 5 mm vagy 10 mm) a terhelőerőt úgy kell megválasztani, hogy a lenyomat átmérője, a behatolótest átmérőjének a 0,24-szerese és 0,6-szorosa közé essen.

A többi eljárással összehasonlítva a Brinell–módszernél keletkezik a legnagyobb (mély és széles) lenyomat. Ennek megfelelően a mérési eredmény mintegy átlagolja a lenyomat alatt elhelyezkedő anyag keménységét. Tipikusan öntöttvasak, színes- és könnyűfémek valamint ötvözeteik, továbbá lágyacélok vizsgálatára alkalmazzák.

Mivel a keményfémet szúrószerszámként viszonylag nem régóta használják és nagyon sok helyen még acélgolyót is alkalmaznak, ezért ebben az esetben a Brinell-mérőszámot HBS-sel jelöljük (S - steel, acél).



3. ábra A Brinell-keménységérték és a terhelőerő közötti kapcsolat bemutatása acél és alumínium minták esetén

Vickers-eljárás

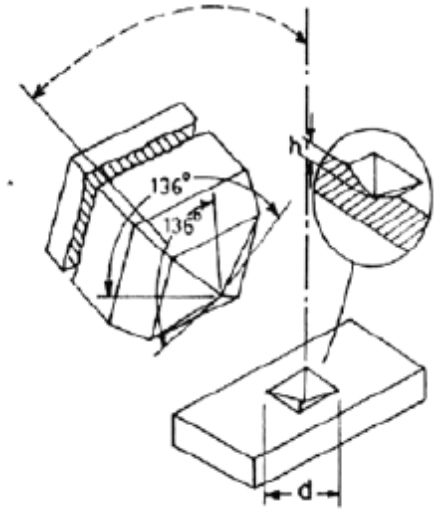
A Vickers-eljárásnál (4. ábra) alkalmazott szúrószerszám gyémántgúla, amelynek lapszöge 136°-os. A keménység mérőszámának definíciója hasonlít a Brinell-keménységéhez és számszerű értékét a következő összefüggés adja:

$$HV = \frac{0{,}102F}{A} = \frac{0{,}189F}{d^2}$$

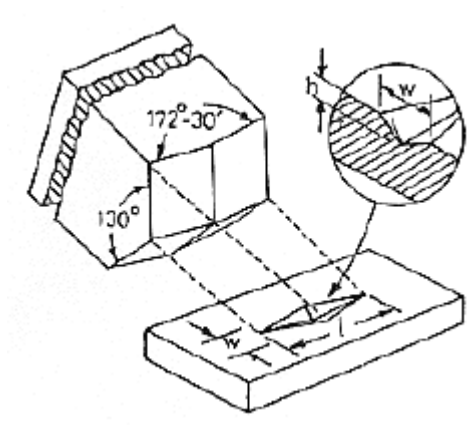
ahol F- terhelő erő (N), A-lenyomat felület (mm^2), d– a lenyomat átlóinak átlaga (mm). A lenyomatra felülről ránézve egy négyzetet látunk, mely sok esetben torzult. A Brinell-keménységméréssel összehasonlítva, a Vickers-eljárás során alkalmazott terhelőerő jóval kisebb (9,81 N - 1177,2 N), ennek megfelelően a lenyomat is kisebb. Emiatt a lenyomat leolvasásához 50-100 szoros nagyítású mikroszkópra van szükség, és a mérés előtt gondosan elő kell készíteni a felületet. A Meyer-törvény a Vickers-mérés esetén is érvényes, csak a golyóátmérő helyett a lenyomatátlót kell a képletbe helyettesíteni. Mivel az n kitevő nagyon közel van a kettőhöz, emiatt a Vickers-keménységi érték gyakorlatilag független a terhelő erőtől. A pontos keménységmegadáshoz a számértéket követően a $HV/F/t$ (Vickers-keménységérték/terhelőerő (kp)/mérési időtartam (s)) adatokra van szükség. Ez az eljárás a Brinell-keménységgel szemben,

sokkal inkább a vizsgált anyagi környezet lokális jellemzőjét szolgáltatja. Mindenféle anyagminőséghez használható.

A fentiekhez képest még kisebb terhelőerő tartományokban (1,961 ≤ F < 49,03 N és 0,09807 ≤ F < 1,961 N) kialakították, az úgynevezett mikrokeménység mérést, amellyel az anyag mikroszerkezeti jellemzői határozhatók meg (pl. szemcse keménység, egymás melletti eltérő fázisok keménysége) illetve nagyon vékony réteg mechanikai tulajdonsága vizsgálható. Mikrokeménység mérésnél a keménység érték mellett fontos megadni az alkalmazott terhelés nagyságát, HV jelet követően kp-ban, valamint a mérési időtartam értékét másodpercben kifejezve.



4. ábra Vickers mérés elrendezése



5. ábra Knoop mérés elrendezése

Knoop-eljárás

Egy másik mikrokeménységmérő eljárás a Knoop-keménységmérés, amelynél szintén gyémánt gúlát használnak. A mérőelem alakja az 5. ábrán látható. A gúla élei páronként 130° és 172,5°-kal hajlanak egymáshoz. A lenyomat vetülete egy olyan rombusz, amelynek hosszabbik átlója 7,11-szer nagyobb, mint a rövidebbé. A keménységi mérőszámot változatlanul a terhelő erő/lenyomat felület definíciónak megfelelően határozzuk meg:

$$HK = \frac{0{,}102F}{A} = \frac{1{,}451F}{l^2}$$

ahol *F*- terhelő erő (N), *A*- lenyomat felület (mm^2), *l*- lenyomat hosszabbik átlója (mm). A mérésnél alkalmazott maximális erő 19,614 N. A keménységi mérőszám megadását követően a HK jelet valamint a terhelő erőt kp-ban és a mérési időtartamot

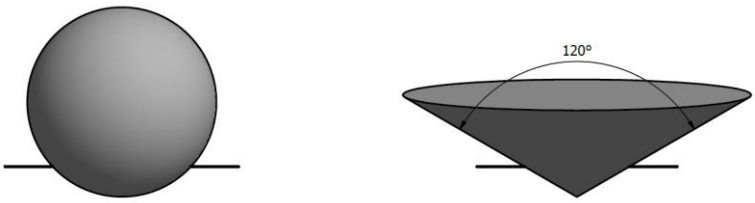
másodpercben kifejezve kell megadni. A megbízható mérés a felület gondos előkészítését kívánja meg.

A Vickers- és Knoop-mikrokeménységmérő eljárásokat összehasonlítva a következők állapíthatók adott terhelés és anyag esetén:

- a Vickers-behatolótest kb. kétszer mélyebbre hatol az anyagba, mint a Knoop-behatolótest
- a Vickers-lenyomat átlójának hossza kb. harmada a Knoop-lenyomat nagy átlójának
- a Vickers-eljárás jobban érzékeny a mérési hibákra, mint a Knoop-eljárás
- a Knopp-eljárás alkalmasabb nagyon kemény, rideg anyagok vizsgálatára (pl. kerámia, üveg) mint a Vickers-eljárás, mivel kisebb a behatolási mélysége
- a Knoop-eljárás alkalmasabb elnyújtott mikroszerkezeti jellemzőkkel (szemcse, szövetelem) rendelkező anyag vizsgálatára, mint a Vickers-eljárás

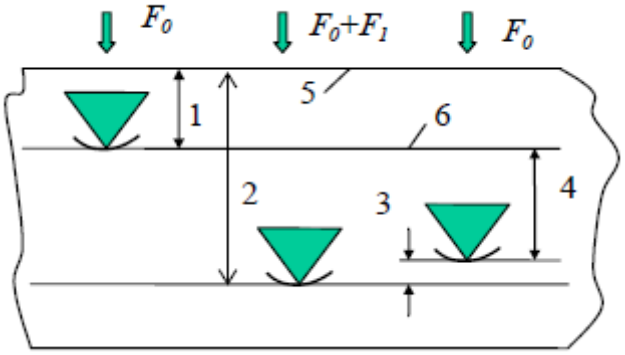
Rockwell-eljárás

A Rockwell-eljárás a mérés egyszerűségével tűnik ki a többi eljárás közül. Nincs szükség a felületi lenyomat geometriájának meghatározására, a szúrószerszám behatolási mélysége van közvetlenül kapcsolatban a keménységi számmal. A próbatest felületi előkészítésével kapcsolatban kisebbek a követelmények, mint az előző eljárásoknál. A mérőelem kétfajta kialakítású (6. ábra). Az egyik 120°-os csúcsszögű gyémántkúp, a másik edzett acél vagy keményfém golyó, amelynek átmérője az eljárás típusától függ. Mindegyik eljárás az előterheléssel kezdődik (F_0) ami biztosítja, hogy a felületet nem kell gondosan megmunkálni, majd ezt követi a főterhelés (F_1) ami a mérőelem további benyomódását okozza. A mérés utolsó fázisában a főterhelést meg kell szüntetni, aminek következtében a behatolótest az előző pozíciójából visszarugózik (7. ábra). A benyomódási és visszarugózási folyamat egy, a keménységre kalibrált mérőórával követhető.



6. ábra Rockwell-behatolótestek

A Rockwell-keménység mérőszáma a maradó benyomódás mélysége 0,002 mm-ben, vagy 0,001 mm-ben kifejezve. Ha a keménység mérőszámát a benyomódással kapcsolnánk közvetlenül össze, akkor a ”lágyabb” anyag nagyobb mérőszámot eredményezne, mint a ”keményebb anyag” és ez ellentétes lenne az eddigi keménységi mérőszámokkal. Ezért egy kellően megválasztott számból kell kivonni a benyomódás értékét ahhoz, hogy megfelelő mérőszámot kapjunk. A keménység értéke a benyomódást mérő óra megfelelő skáláján közvetlenül leolvasható.



7. ábra Rockwell-keménységmérés lefolytatásának elvi vázlata 1- a lenyomat mélysége az F_0 előterhelésnél; 2- A lenyomat mélysége az F_1 főterhelésnél; 3- a rugalmas visszarugózás az F_1 főterhelés levétele után; 4- a maradó lenyomat *h* mélysége; 5- a mintadarab felülete; 6- a mérés referencia síkja

A különböző eljárások adatai a következő táblázatban találhatóak. A gépészetben a legelterjedtebbek a HRB illetve a HRC mérések.

Keménységi jel	Szúrószerszám	Előterhelés, N	Főterhelés, N	Keménység
HRA	Gyémánt kúp	98,07	490,3	$100-\frac{h}{0,002}$
HRB	Golyó 1,5875 mm	98,07	882,6	$130-\frac{h}{0,002}$
HRC	Gyémánt kúp	98,07	1373	$100-\frac{h}{0,002}$
HRD	Gyémánt kúp	98,07	882,6	$100-\frac{h}{0,002}$
HRE	Golyó 3,175 mm	98,07	882,6	$130-\frac{h}{0,002}$
HRF	Golyó 1,5875 mm	98,07	490,3	$130-\frac{h}{0,002}$

Keménységi jel	Szúrószerszám	Előterhelés, N	Főterhelés, N	Keménység
HRG	Golyó 1,5875 mm	98,07	1373	$130-\frac{h}{0,002}$
HRH	Golyó 3,175 mm	98,07	490,3	$130-\frac{h}{0,002}$
HRK	Golyó 3,175 mm	98,07	1373	$130-\frac{h}{0,002}$
HR15N	Gyémánt kúp	29,42	117,7	$100-\frac{h}{0,001}$
HR30N	Gyémánt kúp	29,42	264,8	$100-\frac{h}{0,001}$
HR45N	Gyémánt kúp	29,42	411,9	$100-\frac{h}{0,001}$
HR15T	Golyó 1,5875 mm	29,42	117,7	$100-\frac{h}{0,001}$
HR30T	Golyó 1,5875 mm	29,42	264,8	$100-\frac{h}{0,001}$
HR45T	Golyó 1,5875 mm	29,42	411,9	$100-\frac{h}{0,001}$

A golyót használó skáláknál acél golyó esetén „S”, míg keményfém golyó esetén „W” betűvel kell a keménységi jelet kiegészíteni. Az egyes Rockwell-eljárások különböző alkalmazási területei a következő táblázatban vannak összefoglalva.

Eljárás	Alkalmazási terület
HRA	Vékony acéllemezek, vékony kérgek, cementált rétegek
HRB	Lágyacélok, réz és alumínium ötvözetek, temperöntvények
HRC	Acélok, cementált acélok, titán ötvözetek, öntöttvasak, perlites temperötvények
HRD	Vékony acéllemezek, cementált acélok, perlites temperötvények
HRE	Öntöttvasak, alumínium és magnézium ötvözetek, csapágyfémek
HRF	Lágy rézötvözetek, vékony, lágy lemezek
HRG	Foszforbronzok, berilliumbronzok, temperöntvények
HRH	Alumínium, cink, ólom
HRK	Csapágyfémek, nagyon lágy anyagok
HRN	Ugyanaz, mint az A, C és D skáláknál, de vékonyabb rétegekhez
HRT	Ugyanaz, mint a B, F és G skáláknál, de vékonyabb rétegekhez

Dinamikus mérések

Gyors, lökésszerű erőhatással végzett méréseket hívjuk dinamikus eljárásoknak. Az egyik csoportba tartozó eljárások alapvetően nem különböznek a szúrókeménységi módszerektől, mivel ebben az esetbe is a benyomódás következtében létrejött képlékeny alakváltozásból határozzák meg a mérőszámot.

Poldi-eljárás

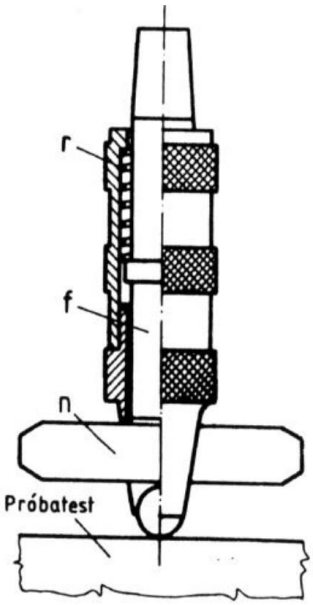
Legelterjedtebben alkalmazzák a Brinell-keménységmérésen alapuló Poldi-eljárást. A mérés lényege, hogy a mérendő tárgy keménységét egy ismert keménységű etalonnal való összehasonlítás alapján határozzák meg oly módon, hogy azonos nagyságú erő hat a próbatestre és az etalonra egyaránt. A mérés vázlata az 8. ábrán látható, ahol a Poldi-kalapács acélgolyót tartalmaz. A mérés kiértékelése az alábbi egyenlet alapján végezhető el:

$$HB_x = HB_e \frac{d_e^2}{d_x^2}$$

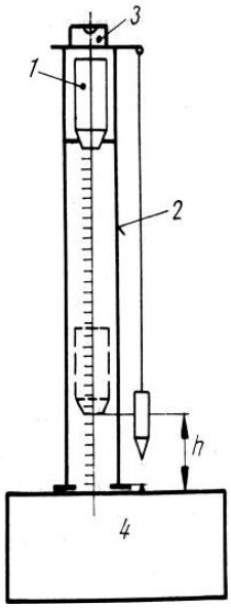
ahol HB_x, HB_e - a próbatest és az etalon keménysége, d_x, d_e – a próbatest és az etalon lenyomatának átmérője.

Szkleroszkóp

A dinamikus keménységmérési eljárások másik csoportja, a rugalmas visszahatás elvén alapul. Az egyik berendezés a szkleroszkóp (9. és 10. ábra) amelynek alkalmazása során egy gyémántfejjel ellátott kistömegű hengert ejtenek a vizsgálandó darab felületére egy függőleges csőben. A cső falán látható skálán mérhető a darabról visszapattant henger pozíciója. A szerszám gyakorlatilag nem hagy nyomot a munkadarab felületén. A mérendő tárgy tömege jelentősen befolyásolja a mérés eredményét. Minél kisebb a vizsgálandó darab tömege, annál nagyobb esély van arra, hogy a leeső szerszám rezgést keltsen a munkadarabban, csökkentve a visszapattanás energiáját. Ezért alapvetően nagytömegű tárgyak vizsgálatára alkalmazzák ez az eljárást.



8. ábra A Poldi-eljárás vázlata, ahol r- a rugó, f- acél henger, n- az etalon.

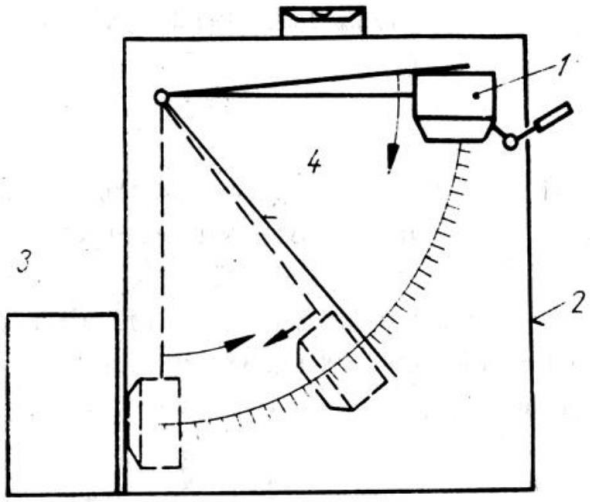


9. ábra Szkleroszkóp mérési elve: 1 – mérősúly, 2 – üvegcső, 3 – indító gomb, 4 - próbatest

10. ábra Napjainkban használt szkleroszkóp digitális kivitelben

Duroszkóp

A duroszkóp mérési elrendezése látható a 11. ábrán. A vizsgálat kezdetén a mérőkalapács a felső pozícióban helyezkedik el, adott helyzeti energiával rendelkezve. A kalapácsot a mérendő darab felületére ejtve, a visszapattanás szöge jellemzi az anyag keménységét. A próbadarab tömege és a vizsgált felület érdessége befolyásolja a mérés eredményét.

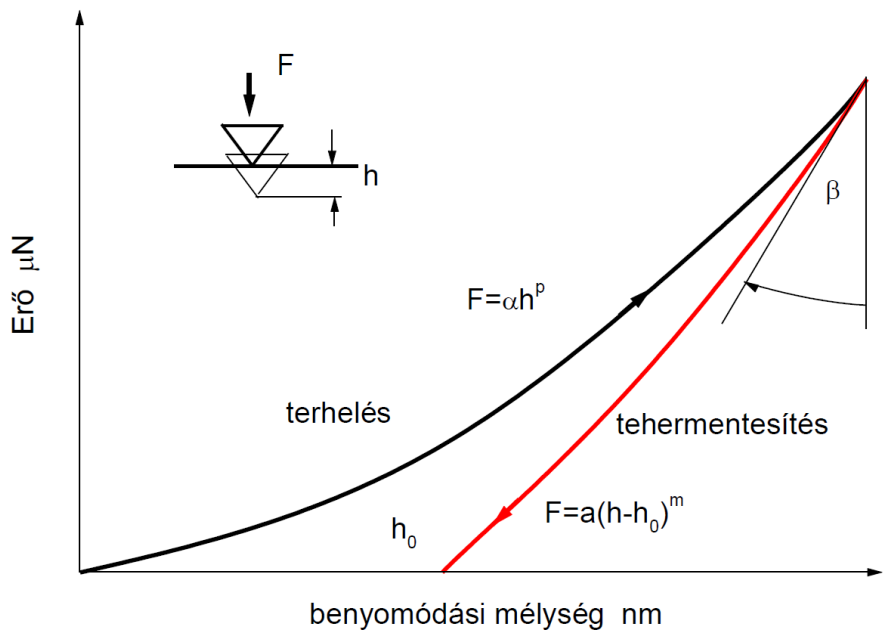


11. ábra Duroszkóp mérési elve: 1 – mérőkalapács, 2 – mérődoboz, 3 – próbatest, 4 – mutató

Különleges mérések

Műszerezett keménységmérés

Az eddig ismertetett eljárások során a mérőszerszám és az anyag kölcsönhatásának folyamata helyett csak a folyamat végeredményét elemeztük, mivel az eljárások nem adtak lehetőséget a folyamat vizsgálatára. Az utóbbi évtizedekben kifejlesztettek olyan, jellemzően igen kis terhelésű eljárásokat, amelyeknél az erő-benyomódás folyamatos regisztrálását lehet elvégezni, és amely alapján komplexebb mérőszámok határozhatók meg. A műszerezett keménységvizsgálatnál villamos erőmérő cellával és útadóval folyamatosan mérik a terhelő erőt (F) valamint az anyagba behatoló szúrószerszám elmozdulását (h) és az így kapott adatokat számítógépes adatgyűjtő és feldolgozó rendszer segítségével kiértékelik. Egy jellegzetes erő benyomódási mélység diagram látható az 12. ábrán. A terhelés kis szintje (mN, μN) és a benyomódás kis értéke (nm) nagyon pontos regisztrálást igényel, és emiatt az eljárás csak laboratóriumi körülmények között használható.



12. ábra A műszerezett mérés esetén rögzített erő – benyomódási mélység diagram

A görbe kiértékelése a mérési eredmény analitikus feldolgozásán alapul A terhelés és tehermentesítés egyenletei az alábbi alakban írhatók fel.

$$F = \alpha h^p,$$

$$F = a\left(h - h_0\right)^m$$

ahol α, p és a, m a görbék illesztésére szolgáló paraméterek, h_0 - a nanoindenter benyomódási mélysége tehermentesített állapotban. A tehermentesítési görbe kezdeti szakaszához (h_{max}) kapcsolható a vizsgált anyag rugalmassági modulusza.

$$\tan\beta = \left.\frac{\partial F}{\partial h}\right|_{h_{\max}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} E_r \sqrt{A}$$

ahol A- a lenyomat felülete, E_r- redukált rugalmassági modulusz, amelynek értéke az alábbi egyenlettel számolható:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1-\nu^2}{E} + \frac{1-\nu_i^2}{E_i}$$

ahol E és ν a próbatest- , E_i és ν_i az indenter rugalmas paraméterei. Az anyag keménysége, hasonlóan a szúrókeménység definíciós egyenletéhez az alábbi módon határozható meg:

$$H = \frac{F_{\max}}{A}$$

Összefoglalás

A különböző eljárásokkal meghatározott keménységértékek között átváltásra van lehetőség. Az alábbi táblázat erre ad egy példát:

Szakítószilárdság (N/mm2)	Vickers-keménység HV	Brinell-keménység HB	Rockwell-keménység	
			HRB	HRC
210	65	62		
255	80	76		
320	100	95	56	
350	110	105	62	
400	125	119	69	
450	140	133	75	
510	160	152	81,5	
560	175	166	86	
610	190	181	89,5	
705	220	209	95	
800	250	230	99,5	22
900	280	266		27
1020	317	301		32
1110	345	328		35
1200	373	354		38
1300	403	383		41
1530	473	449		47
1730	527	501		51
1910	578	549		54
2200	655	622		58

A keménységmérés egyszerű és gyors eljárás, mely olyan mutatószámok meghatározására szolgálhat, melyek alapján közelítő és összehasonlító adatok nyerhetők, a sokkal bonyolultabb szakítóvizsgálattal nyert paraméterekre. Azonban nyomatékosan meg kell jegyezni, hogy a keménységmérés alapján becsléssel számolt folyáshatár vagy szakítószilárdság, soha nem fogadható el olyan bizonyossággal, mint a szakítással meghatározott értékek. A keménységmérés mutatószámai nemcsak a szilárdságról adnak tájékoztatást, hanem arra is következtetni engednek, hogy a munkadarab milyen hőkezeltségi állapotban van, ill. milyen képlékenyalakításon ment keresztül. Ezen kívül a keménységérték és a kopásállóság között is szoros kapcsolat áll fenn.

Felkészülést segítő kérdések:

- Rajzolja fel a Brinell-keménységmérés elrendezését.
- Adja meg a Brinell-keménység kiszámítására vonatkozó képletet.
- Rajzolja fel a Vickers-keménységmérés elrendezését.
- Adja meg a Vickers-keménység kiszámítására vonatkozó képletet.
- Adja meg a Brinell- illetve a Vickers-keménységmérések esetén a szabványos jelöléseket.
- Hasonlítsa össze a Vickers- és a Knoop-eljárásokat.
- Adja meg a HRB keménység kiszámítására vonatkozó képletet.
- Rajzolja fel a HRC keménységmérés elrendezését.
- Adja meg a HRC keménység kiszámítására vonatkozó képletet.
- Hasonlítsa össze a HRB és HRC mérések alkalmazhatósági területeit.
- Írja fel a lenyomatok ismeretében a próbatest és az etalon keménysége közötti kapcsolatot Poldi-kalapáccsal való mérés esetére.
- Írja le a szkleroszkóp mérési elvét.
- Írja le a duroszkóp mérési elvét.
- Adja meg a műszerezett mérés esetén a rugalmassági modulusz és a tehermentesítési görbe kezdeti szakaszához húzható érintő közötti kapcsolatot.

Felhasznált és ajánlott irodalom:

- Dr. Gillemot László: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat.
- Prohászka János: Bevezetés az anyagtudományba.
- W. D. Calister, D.G. Rethwisch: Materials Science and Engineering. 9th edition John Wiley & Sons, 2013
- Az alkalmazott szabványok:
    - MSz EN ISO 6506-1:2014
      Fémek. Brinell-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás (ISO 6506-1:2014)
    - MSz EN ISO 6507-1:2006
      Fémek. Vickers-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás (ISO 6507-1:2005)
    - MSz EN ISO 4545-1:2006
      Fémek. Knoop-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás (ISO 4545-1:2006)
    - MSz EN ISO 6508-1:2016
      Fémek. Rockwell-keménységmérés. 1. rész: Mérési eljárás (ISO 6508-1:2016)
    - MSz EN ISO 18265:2014
      Fémek. A keménységi értékek átszámítása (ISO 18265:2013)