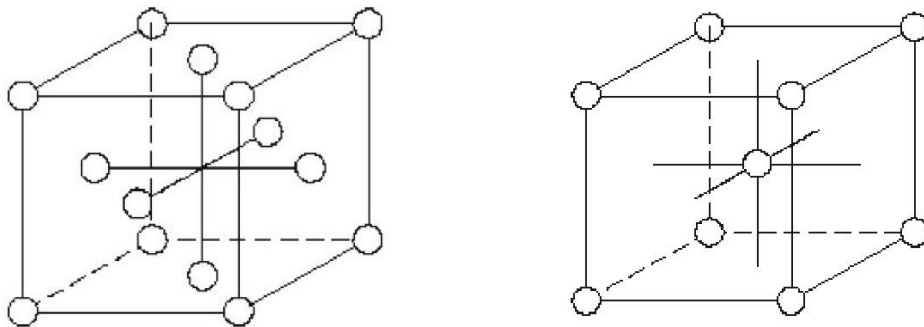


## Melegalakítás

### Képlékeny alakváltozás és mechanizmusa a fémekben

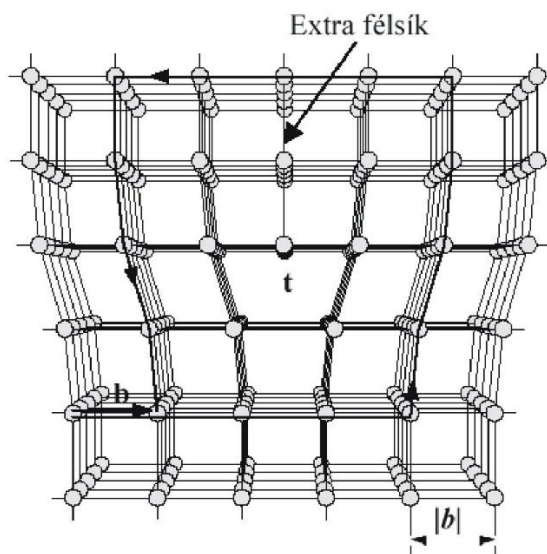
Képlékeny alakváltozásról beszélünk, amikor a testre akkora terhelés hat, hogy az az anyag mikroszerkezetében vissza nem fordítható változásokat okoz, a test a leterhelés után nem tér vissza az eredeti alakjára, hanem maradó alakváltozást szenved. Ennek a mikroszerkezeti oka, hogy a testet alkotó atomok a terhelés hatására átrendeződnek.



1. ábra. Felületen (bal) és térben (jobb) középpontos köbös elemi cella

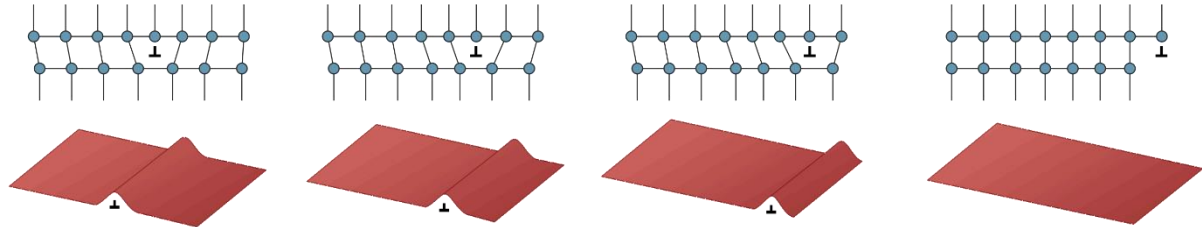
A mérnöki gyakorlatban alkalmazott fémek és ötvözetek kristályos szerkezetűek. Ez azt jelenti, hogy a kristályszerkezetre jellemző térrács ideális esetben a tér mindhárom irányában szabályosan ismétlődik: a kristályszerkezet rácspontjaiban minden egyes helyen megtalálható az adott anyagot felépítő atom.

A valódi kristályokban az ideális rácsfelépítést különböző rendezetlenségek, rácshibák zavarják meg. Ezek közül a képlékeny alakváltozás szempontjából a diszlokációk szerepe kiemelkedően fontos.



2. ábra. Éldiszlokáció sematikus ábrája primitív köbös rácsban.

A képlékeny alakváltozás jellemzően úgy megy végbe, hogy egy bizonyos atom réteg a szomszédos atomréteghez képest elcsúszik. Ez az elcsúszás nem egy lépésben történik, hanem a diszlokációknak a kristálysíkon történő csúszása által, amit az alábbi ábra szemléltet:



3. ábra. Diszlokációs elcsúszás - A képlékeny alakváltozás mechanizmusa.

Ha a feszültség eléri az anyag folyáshatárát, akkor megindul a diszlokációk elcsúszása és ezáltal a képlékeny alakváltozás. Egy diszlokáció az atomi síkoknak csupán kismértékű elmozdulását okozza. Ahogy a képlékeny alakváltozás egyre nagyobb mértékű, egyre több és több diszlokáció keletkezik.

## Melegalakítás, újrakristályosodás

Képlékeny alakításakor a végzett munka egy része hővé alakul másik része az alakváltozásra, azaz diszlokációk létrehozására és azok mozgatására fordítódik, ezáltal növeli a kristályrác energiáját. Ha az alakított fémet megfelelően nagy hőmérsékletre hevítjük, akkor lágyulási folyamat fog beindulni, aminek hatására az anyag szilárdsága és keménysége csökken, szívóssága és alakíthatósága nő. Melegalakítás esetében ez a folyamat jellemzően az újrakristályosodás.

Az újrakristályosodás hajtóereje, hogy a rács energiája – ami a képlékeny alakítással, azaz a diszlokációsűrűség növelésével megnőtt – csökkenjen. A folyamat során új kristálycsírák keletkeznek, majd nőnek. A folyamat végére a régi szemcsék eltűnnek, helyettük új, kis diszlokáció sűrűségű szemcsékből álló mikroszerkezet alakul ki.

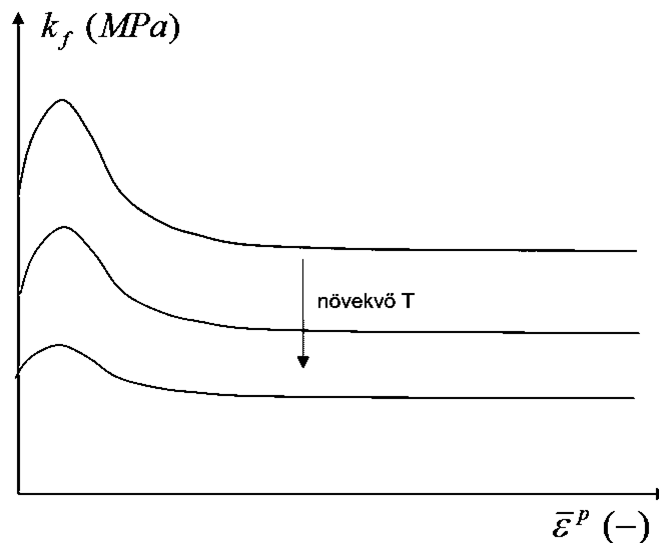
Az újrakristályosodás hőmérséklete az anyagtól, illetve az alakítottóság mértékétől függ. Egy erősen alakított ötvözetben kisebb hőmérsékleten megindul az újrakristályosodás, mint egy közepes mértékben alakítottban. Ezért az újrakristályosodás nem egy kifejezett hőmérséklet értékhez, hanem egy hőmérsékleti tartományhoz köthető. E szerint beszélünk hidegalakításról, ahol nincs lágyulási folyamat, melegalakításról, ahol jellemzően újrakristályosodás történik, illetve a kettő között a félmeleg alakítás tartományáról, ahol a lágyulási folyamatok csak részben mennek végbe. A hideg, félmeleg és melegalakítás hőmérséklet tartományát az alábbiak szerint szoktuk definiálni:

$$T_{hideg} < 0,3 \cdot T_{olv} \quad 0,3 \cdot T_{olv} < T_{félmeleg} < 0,6 \cdot T_{olv} \quad T_{meleg} > 0,6 \cdot T_{olv}$$

ahol  $T_{olv}$  az olvadáspont K-ben.

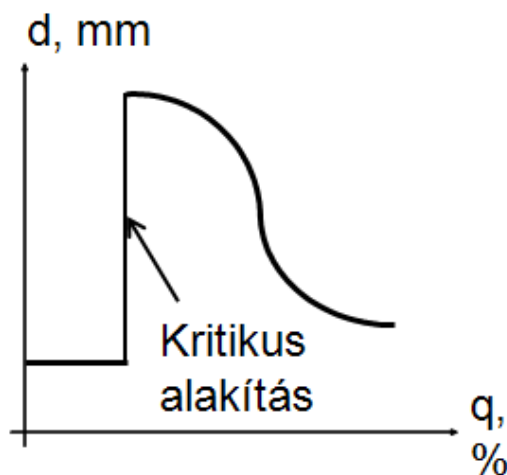
Melegalakítás közben a keményedés (diszlokációk keletkezése) és az újrakristályosodás egymással párhuzamosan megy végbe. A két folyamat között – egy kezdeti szakasz után – egyensúly áll be, ami a meleg folyásgörbéken megfigyelhető (4. ábra). Ennek köszönhetően az

anyagot nagymértékben lehet alakítani annak károsodása nélkül. A folyásgörbét a hőmérséklet növelése lefele tolja el, egyre kisebb erőkkel lehet ugyanazt az alakítási műveletet végrehajtani.



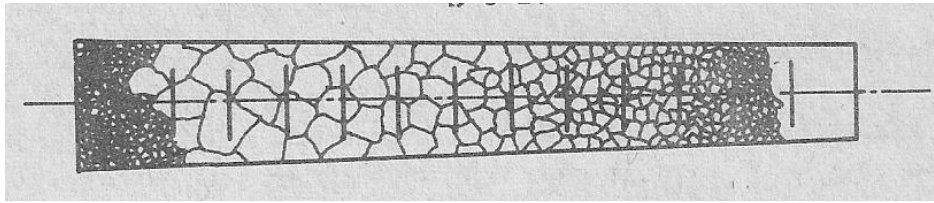
4. ábra. Melegalakításra jellemző folyásgörbe: Az alakításhoz szükséges egyenértékű feszültség a képlékeny alakváltozás függvényében, és a hőmérséklet növelésének hatása.

Az ábrán látható első csúcserték abból fakad, hogy ahhoz, hogy az újrakristályosodás beinduljon, egy bizonyos mértékű alakításra szükség van. Ezt kritikus alakításnak szoktuk nevezni. Az újonnan kialakuló szemcsék mérete nagyban függ a bevitt alakváltozás mértékétől. Ezt mutatja be az 5. ábra.



5. ábra. Az újrakristályosodás során kialakuló szemcseméret a bevitt alakítás függvényében

Az ábráról az is látható, hogy egy bizonyos alakváltozás fölött már homogén kisméretű szemcsék fognak képződni, ami előnyös a mechanikai tulajdonságok szempontjából. Az újrakristályosodás során kialakuló szemcsedurvulásra az alumínium különösen érzékeny. A 6. ábra egy újrakristályosodott alumíniumlemezt mutat be, mely a hossza mentén különböző mértékű alakítást szenvedett az újrakristályosodás lejárás előtt.



6. ábra. Különböző mértékben alakított lemez újrakristályosodása.

## A melegalakítási eljárások előnyei és hátrányai

- *Felületi minőség.* Ha az alakítás hőmérsékletén a munkadarab anyaga oxidálódik, akkor az rontja a felület minőségét. Példa: acél kovácsolásakor a darab felületén reve (vas-oxid) képződik
- *Alakító erők.* Mivel az alakítás során az anyag újrakristályosodik, szilárdsága nem, vagy csak kis mértékben nő a hidegalakításhoz képest, ezért az alakító erők fajlagosan kisebbek a hidegalakításhoz képest.
- *Kiseb pontosság.* Melegalakító technikákkal a hidegalakítókhöz képes pontatlanabbak. Ennek oka az, hogy az alakítás hőmérsékletéről lehűlve a darab változtatja a térfogatát, alakját, illetve a hűlés során deformáció is felléphet.
- *Alakíthatóság.* Mivel melegalakításkor az anyag újrakristályosodik, ezért az alakíthatósága elméletileg nem korlátolt.

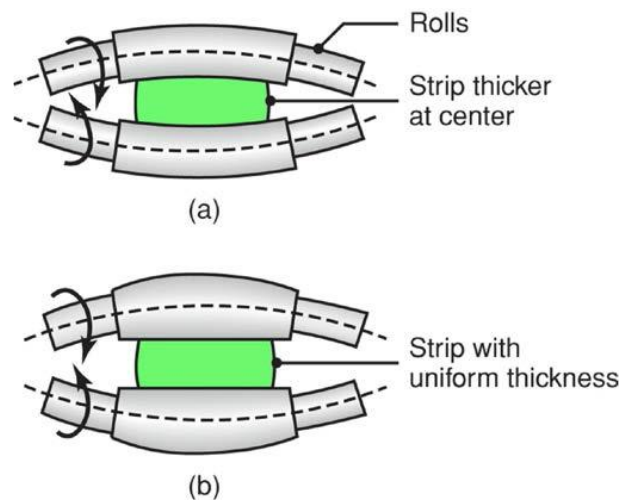
## Melegalakító technológiák

### *Kovácsolás*

A kovácsolásnak két nagy fajtája van. Az egyik a szabadalakító kovácsolás, mely esetén egyszerű szerszám típusokkal alakítunk ki viszonylag egyszerű formákat. Ide tartozik a kézi kovácsolás is. A szabadalakító kovácsolás tipikus lépései a nyújtás, zömítés, csavarás, hajlítás, nyakazás, lyukasztás, áttolás. A süllyesztékes kovácsolás ezzel szemben speciális szerszámmal rendelkezik. Általában két szerszámfél közösen alakítja ki a bonyolult alakot a munkadarabból. A gép típusából fakadóan készülhet a termék egy vagy több ütésből is. Az út és erő karakterisztikájú gépek esetén egy ütésből, míg az energia karakterisztikájú gépek (pl. ellenütős kalapács) esetén több ütésből készül el a kívánt forma.

### *Meleghengerlés*

Meleghengerlés folyamata nagyban hasonlít a hideghengerléshez, tehát két egymással szemben forgó hengerrel végezzük az alakítást. A napjainkban alkalmazott folyamatos öntési technológia össze van kötve a meleghengerléssel, mely során az öntött vastag lemezeket alakítjuk tovább későbbi felhasználásra. A hengerlés során az alakító hengerek rugalmasan deformálódnak mely által egyenlőtlen vastagságú lemezeket gyártanánk. Ezt a hibát támasztó hengerekkel, vagy a hengerek bombírozásával szokták kiküszöbölni. A bombírozást mutatja be a következő ábra, melyen látszik, hogy a henger közepe felé növekszik a henger átmérője.



7. ábra. (a) hibás kialakítása a hengerlésnek, mivel így nem egyenletes lesz a lemezvastagság, (b) bombírozott hengerekkel egyenletes vastagságú lemez kialakítása

## Mérés: melegalakítás

### Mérés ismertetése

A mérés célja, hogy megismerjük az anyag viselkedését különböző hőmérsékletű alakítás során, valamint hogy meghatározzuk a melegalakítás hőmérséklettartományát. Az alakítás zömítéssel történik több különböző hőmérsékleten. A darab keménységét és magasságát mérjük az alakítás előtt és után. A mérés eredményeként a keménységet, valamint a darab magasságát ábrázoljuk az alakítás hőmérsékletének függvényében, és meghatározzuk a melegalakítás tartományát.

A mérés eszközei: zömítőszerszámmal felszerelt excenter prés,  
Rockwell keménységmérő, tolómérő, kemence

### Mérés menete

A lágyított alumínium henger kezdeti méreteit és keménységét lemérjük. Ezt követően több 4 különböző hőmérsékleten (20°C, 200°C, 300°C és 400°C) zömítjük. A zömítés után mérjük a darab keménységét és magasságát. A keménységméréshez Rockwell berendezést használunk, az anyagnak keménységének megfelelő nyomótesttel és skálán (B, E, F, vagy szabványtól eltérő, tetszőleges beállításokkal).

### Mérés kiértékelése

A mért keménység és magasság adatok diagramon ábrázoljuk a hőmérséklet függvényében. Meghatározzuk a melegalakítás tartományának a kezdetének (ahol az alakítás hatására már nem vagy csak kis mértékben keményedik a darab).

## 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 zsírkö 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

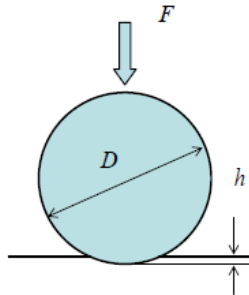
#### *Brinell-eljárás*

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:

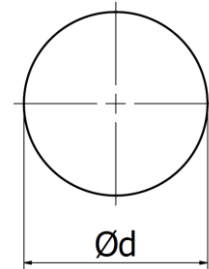
$$HBW = \frac{F}{D\pi h}$$

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).

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 6506:2014) lelhetők fel.



1. ábra A Brinell mérés elrendezése

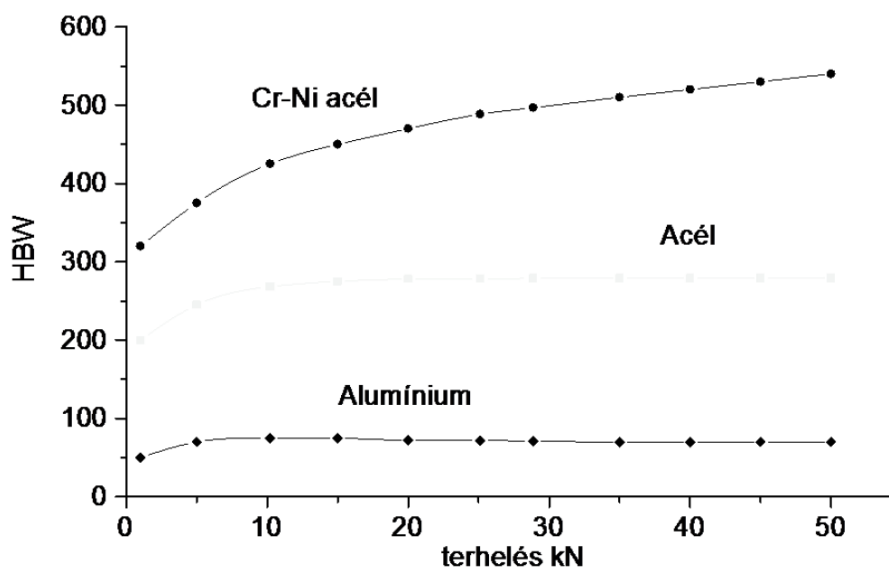


2. ábra A Brinell mérés lenyomata

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.



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

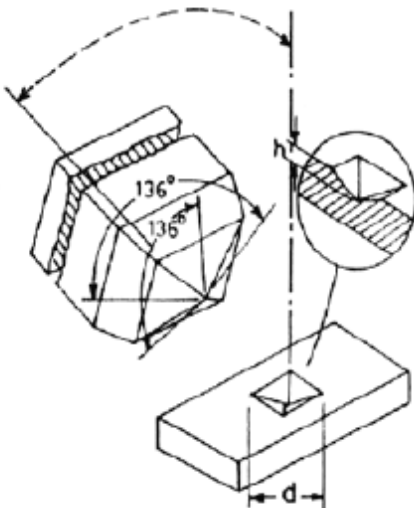
Az előre kiválasztott golyóátmérőhöz (1 mm, 2,5 mm, 5 mm vagy 10 mm) a terhelőerőt úgy kell megválasztani, hogy a lenyomat átmérője, a behatolótest átmérőjének a 0,24-szerese és 0,6-szorosa közé essen.

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.

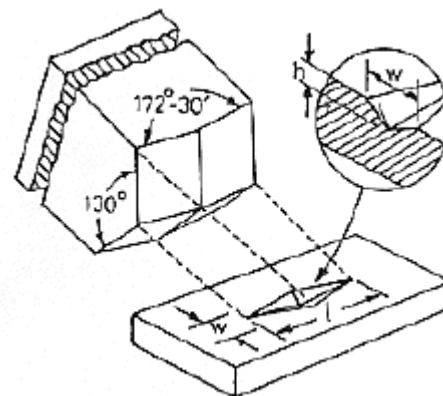
## Vickers-eljárás

A Vickers-eljárásnál (4. ábra) alkalmazott szűrőszerszám gyémántgúla, amelynek lapszöge  $136^\circ$ -os. A lenyomatra felülről ránézve egy négyzetet látunk, mely sok esetben torzult. A Brinell-keménységméréssel összehasonlítva, a Vickers-eljárás során alkalmazott terhelőerő jóval kisebb ( $9,81 \text{ N} - 1177,2 \text{ N}$ ), 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 ( $1,961 \leq F < 49,03 \text{ N}$  és  $0,09807 \leq F < 1,961 \text{ N}$ ) 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  $130^\circ$  és  $172,5^\circ$ -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. A keménységi mérőszám megadását követően a HK jelet valamint a terhelő erőt kp-ban és a mérési időtartamot



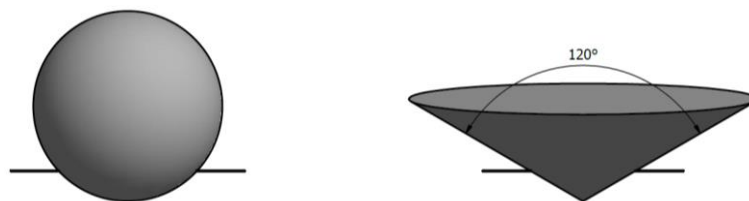
másodpercben kifejezve kell megadni. A megbízható mérés a felület gondos előkészítését kívánja meg.

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

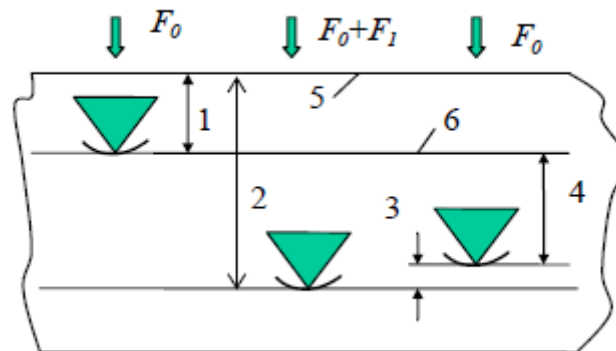
### **Rockwell-eljárás**

A Rockwell-eljárás a mérés egyszerűségével tűnik ki a többi eljárás közül. Nincs szükség a felületi lenyomat geometriájának meghatározására, a szűrőszerszám 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  $120^\circ$ -os csúcshögű 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 vázlatja 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 gépészetben a legelterjedtebbek eljárások adatai a következő táblázatban találhatóak.

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

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
HRB	Lágyacélok, réz és alumínium ötvözetek, temperöntvények
HRC	Acélok, cementált acélok, titán ötvözetek, öntöttvasak, perlites temperöntvények
HRF	Lágy rézötvözetek, vékony, lágy lemezek

## Dinamikus mérések

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

## Poldi-eljárás

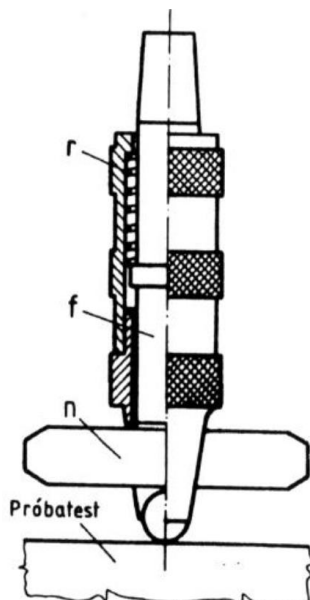
Legelterjedtebben alkalmazzák a Brinell-keménységmérésen alapuló Poldi-eljárást. A mérés lényege, hogy a mérendő tárgy keménységét egy ismert keménységű etalonnal való összehasonlítás alapján határozzák meg oly módon, hogy azonos nagyságú erő hat a próbatestre és az etalonra egyaránt. A mérés vázlata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

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

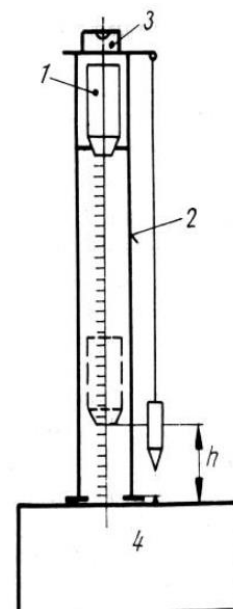
ahol  $HB_x, HB_e$  - a próbatest és az etalon keménysége,  $d_x, d_e$  - a próbatest és az etalon lenyomatának átmérője.

## 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 gyémántfejű 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.



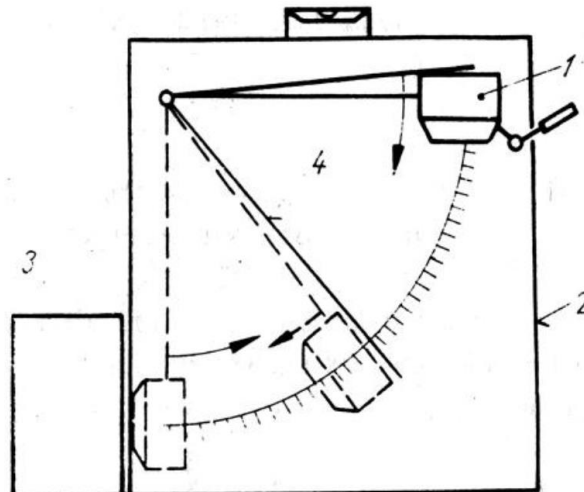
9. ábra Szkleroszkóp mérési elve: 1 – mérő súly, 2 – üvegcső, 3 – indító gomb, 4 - próbatest



10. ábra Napjainkban használt szklerszkóp 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.

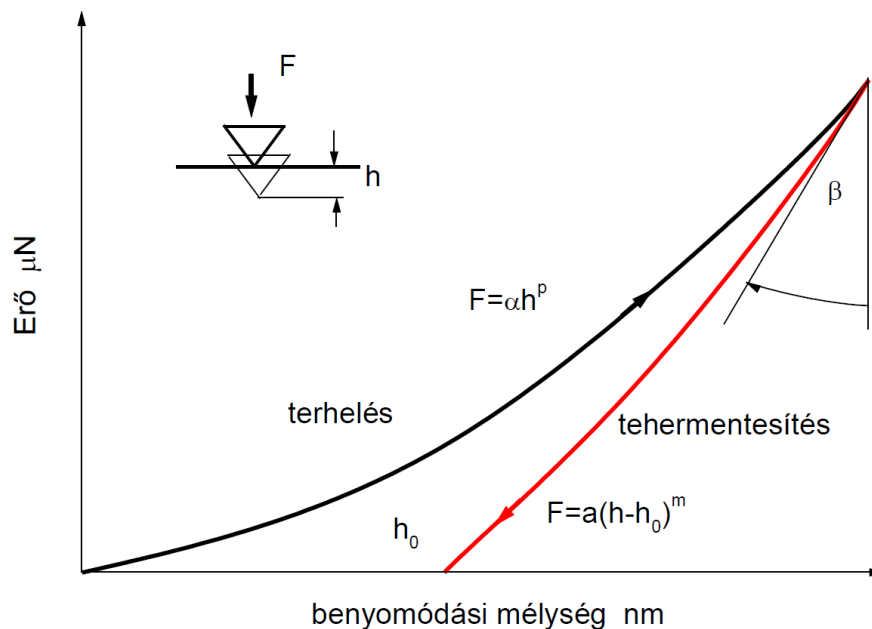


11. ábra Duroszkóp mérési elve: 1 – mérőkalapács, 2 – mérődoboz, 3 – próbatest, 4 – mutató

## 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 útdóval folyamatosan mérik a terhelő erőt ( $F$ ) valamint az anyagba behatoló szűrőszerszám 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,  $\mu$ N) 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 tehermentesítési görbe kezdeti szakaszához ( $h_{max}$ ) kapcsolható a vizsgált anyag rugalmassági modulusza.

## Összefoglalás

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

Szakítószilárdság (N/mm <sup>2</sup> )	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 hőkezeltégi állapotban van, ill. milyen képlékenyalakításon ment keresztül. Ezen kívül a keménységérték és a kopásállóság között is szoros kapcsolat áll fenn.

**Felkészülést segítő kérdések:**

- Milyen folyamatok játszódnak le melegalakítás közben?
- Mi az újrakristályosodás?
- Milyen előnyei vannak a melegalakításnak?
- Milyen hátrányai vannak a melegalakításnak?
- Rajzoljon fel egy melegalakításra jellemző folyásgörbét.
- Rajolja fel a Brinell-keménységmérés elrendezését.
- Milyen alakja lesz a lenyomatnak Vickers-keménységmérés esetén?
- Milyen alakja lesz a lenyomatnak Brinell-keménységmérés esetén?
- Írja le a Rockwell-eljárás lépéseit!
- Milyen alakú és anyagú mérőtesteket alkalmazunk Rockwell keménységmérés esetén?
- A Szkleroszkóp esetén milyen adatból számolunk vissza a próbatest keménységére?
- A Duroszkóp esetén milyen adatból számolunk vissza a próbatest keménységére?

**Felhasznált és ajánlott irodalom:**

- Dr. Szabó László: Szabadalakító kovácsolás
- Dr. Szabó László: Süllyesztékes kovácsolás
- Kurt Lange: Handbook of Metal Forming