

2.3 KEMÉNYSÉGMÉRÉSEK

Az anyagvizsgálati módszerek egyik legrégebbi és legfontosabb mérési eljárása a keménységvizsgálat. Valamely anyag keménységét számos módszerrel lehet mérni. Ezek közül legfontosabbak a statikus keménységmérési módszerek, általában ritkán, de alkalmaznak dinamikus keménységmérési eljárásokat is. Általában egy tárgy keménységét azon az alapon szokás mérni, hogy milyen ellenállást tanúsít egy beléje nyomott tárggyal szemben. A keménységmérésnek ezeket a módszereit szűrő keménységmérésnek nevezik. A keménységmérés más módszerei azon alapszanak, hogy a keménység és rugalmasság egymással közel arányos mennyiségek, tehát valamely tárgynak a vizsgált testről való visszapattanása a keménység mérőszámául is felhasználható. Ezek az ún. dinamikus keménységmérési módszerek. A keménységméréseknek általában nagy előnye az, hogy rendkívül egyszerűen és gyorsan végrehajthatók. Ezért a szakító kísérlet mellett a leggyakrabban alkalmazott vizsgálati eljárás a keménységmérés.

A mértékegységek nemzetközi rendszerének hatálybalépésétől a benyomódást létesítő erőt N-ban kell mérnünk. Ennek következtében azoknál a vizsgálatoknál, ahol a keménység mérőszáma (H) a nyomóerőnek (F) és az általa létrehozott nyom felületének (A) a hányadosa:

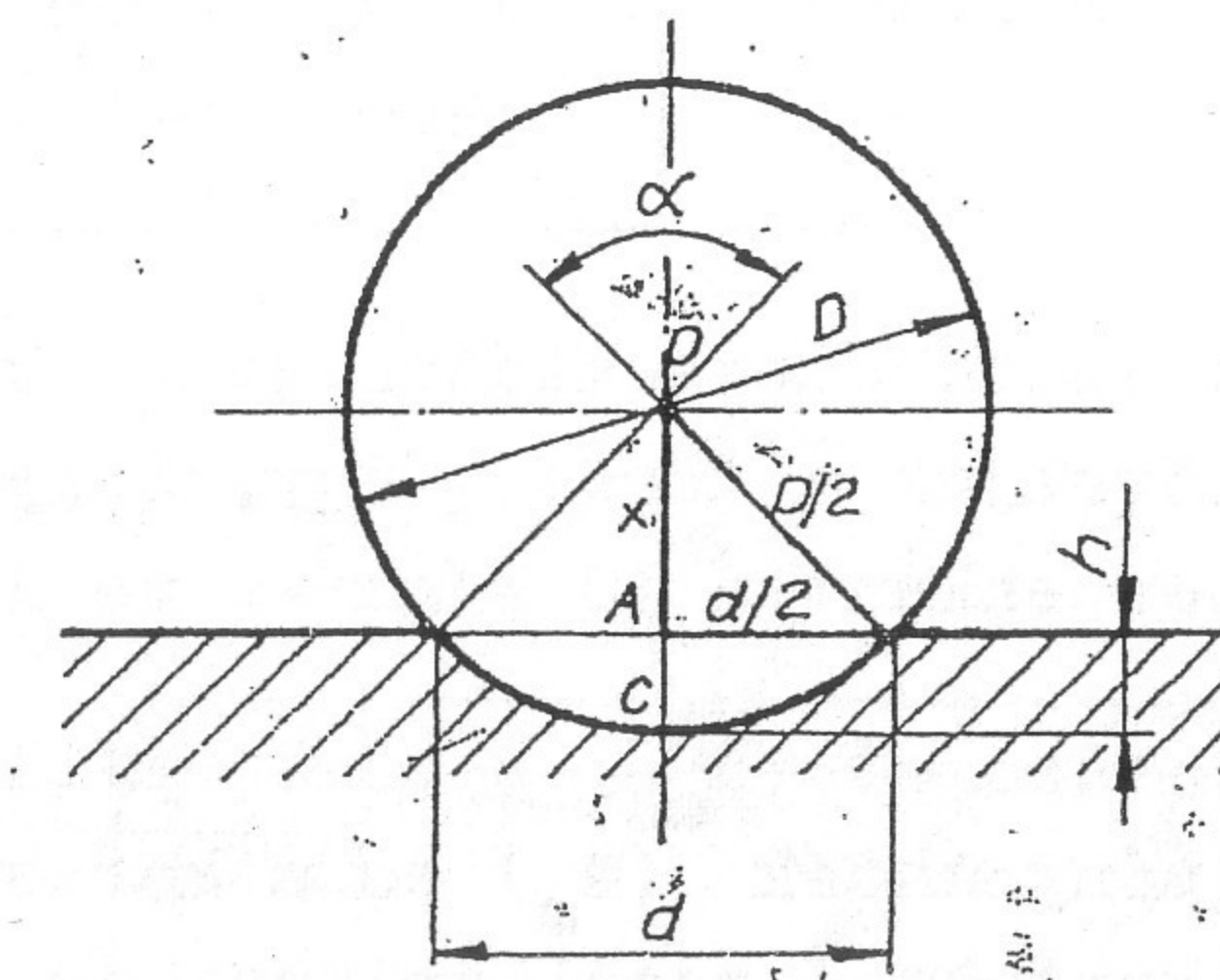
$$H = \frac{F}{A},$$

az értékek kereken egy nagyságrenddel nagyobbak lennének a megszokottaknál. Avégett, hogy ezek a leggyakrabban használt és ezért nagyon megszokott keménység értékek ne változzanak, egyszerűbbnek tűnik a mérésnél a terhelőerőt kp-ban mérni, vagy N-ban mérve azt kp-ra átszámítani (1 N = 0,102 kp) és a keménységet dimenzió nélküli számként megadni.

2.3.1 Brinell-keménység mérése

Brinell 1900-ban dolgozta ki a róla elnevezett keménységvizsgálati módszert, melynek elvi alapja a következő:

Egy edzett, D átmérőjű acélgolyót meghatározott F terheléssel, meghatározott ideig nyomnak a próbatest felületére (51. ábra).



51. ábra

A Brinell-vizsgálat elvi vázlata

A keménység (HB) számszerű értéke a terhelőerő (N) és a lenyomatként keletkezett gömbsüveg felületének (mm²) viszonya dimenzió nélkül:

$$HB = \frac{0,102 F}{D \cdot \pi \cdot h}, \quad \text{ahol } h \text{ a benyomódás mélysége, amit igen nehézkes megmérni, ezért célszerűbb a lenyomat átmérőjét (d) mérni és a h-t számításal meghatározni.}$$

Az 51. ábra szerint:

$$h = OC - OA; \quad OC = \frac{D}{2}; \quad OA^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$h = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4}} = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2} = \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

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

A Brinell-féle keménységnek ez a fogalmazása szükségessé teszi a golyóátmérő és a terhelőerő pontosabb meghatározását.

A vizsgálatot általában 10; 5; 2,5; 2; vagy 1 mm átmérőjű golyóval végzik. A golyók átmérőjét és a hozzá tartozó terhelést úgy kell megválasztani, hogy a benyomódás átmérője 0,25 D és 0,6 D között maradjon. Ennek oka az, hogy a Brinell-keménység értéke nem független a terhelőerőtől. Egy megadott átmérőjű golyóval különböző nagyságú erőkkel végezve a kísérleteket, a kapott lenyomatok és az erők között az $F = a \cdot d^n$ összefüggés adódik, amelyet Mayer-féle hatványtörvénynek neveznek. Az a és az n az anyagtól függő állandók. Mind a két állandó meghatározható két különböző erővel végrehajtott méréssel. Az n értéke különböző anyagokra változó és általában 1,8 és 2,4 között mozog. Még abban az esetben is, ha n -t középértékben 2-vel vesszük egyenlőnek és így a hatvány-

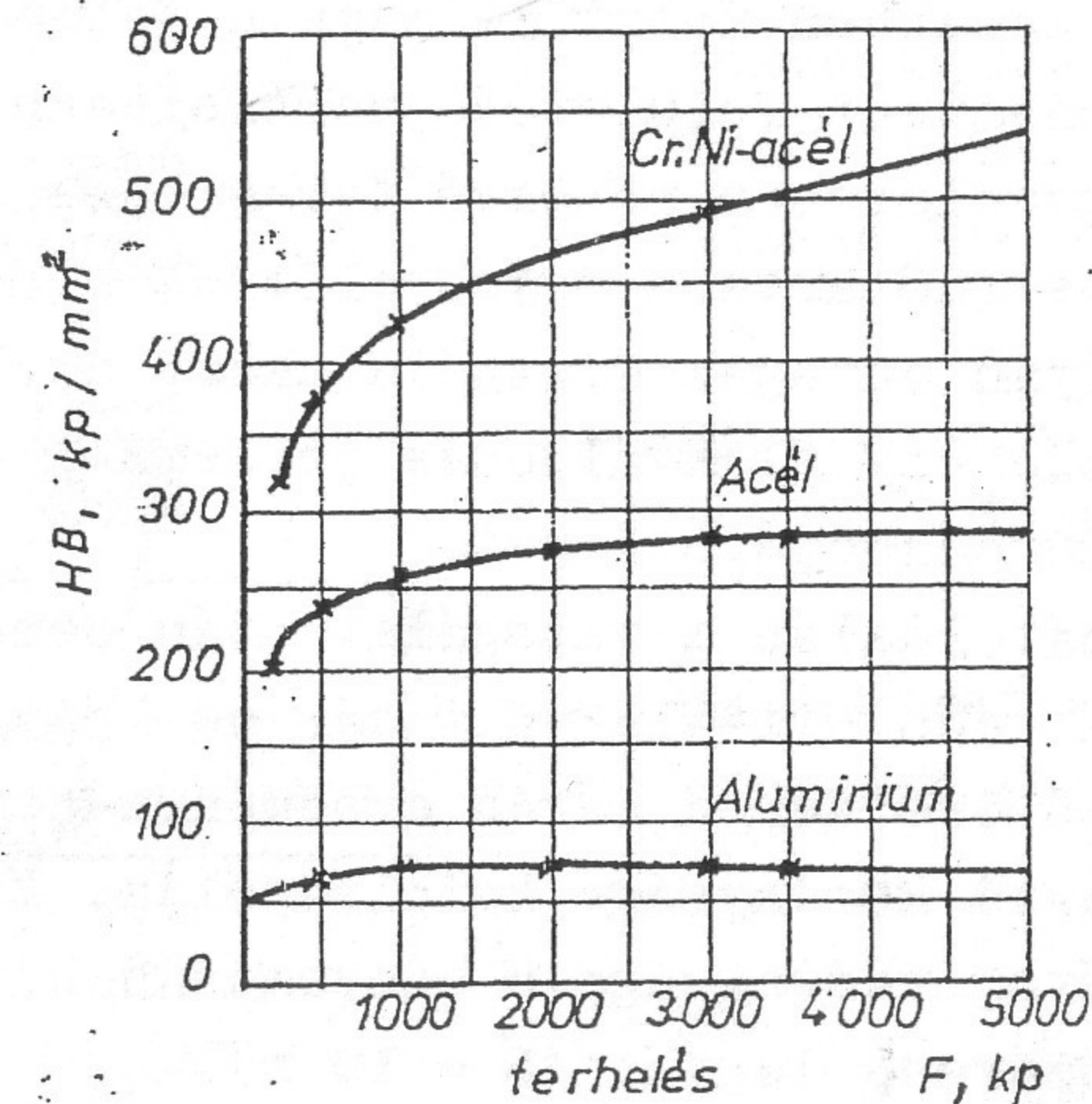
törvényből $d^2 = \frac{F}{2}$ összefüggést a Brinell-keménység képletébe behelyettesítjük:

$$HB = \frac{2 F}{D \cdot \pi (D - \sqrt{D^2 - \frac{F}{a}})}$$

adódik, amiből nyilvánvaló, hogy az F -fel nem lehet egyszerűsíteni, tehát a keménység értéke az erőtől függő érték. A keménység értékének az erőtől való függése főleg kisebb terheléseknél igen számottevő eltérést mutat (52. ábra). A terhelőerőket ezért úgy határozták meg és szabványosították, hogy a különböző anyagoknál a lenyomat átmérője az előzőekben említett 0,25 D és 0,6 D közé essék. Ez a feltétel ki van elégítve akkor, ha a terhelőerőt a golyóátmérő négyzetével arányosan választjuk meg, vagyis

$$F = \frac{K \cdot D^2}{0,102} \quad N,$$

ahol K az úgynevezett terhelési tényező, egy az anyagtól függő állandó, melynek kiválasztásakor célszerű a 3. táblázatban foglaltakat figyelembe venni.



52. ábra

A Brinell-keménység változása a terhelőerő függvényében

3. táblázat

A terhelési tényező adatai

Fémek és ötvözetek	K	HB
Vas, acél és nagyszilárdságú ötvözetek	30	96 -tól 450-ig
Réz, nikkel és ötvözetek	10	32 -tól 200-ig
Aluminium, magnézium, cink és ötvözetek	5	16 -tól 100-ig
Csapágyötvözetek	2,5	8 -tól 50-ig
Ón, ólom	1	3,2-től 20-ig

A Brinell-vizsgálat eredményét a kísérlet időtartama is befolyásolja. Ennek oka az, hogy minden maradó alakváltozásnál az alakváltozás csak egy bizonyos idő múltán jut nyugalmi állapotba. Ez az utóhatás annál rövidebb ideig tart, minél lassabban folyt le maga a terhelés.

A golyót a próbatest felületébe merőlegesen, lökés, rezgés nélkül egyenletesen növekvő terheléssel kell benyomni. A terhelés időtartama egyéb előírás hiányában 10..15 másodperc. Olyan anyagok vizsgálatakor, amelyekre az időtől függő képlékeny alakváltozás jellemző, a terhelés időtartama 30..180 másodperc lehet.

A próbatest hátoldalán a vizsgálat után semmilyen, a benyomódás által okozott alakváltozás ne legyen észlelhető, mert ellenkező esetben a mérés eredménye nem lehet pontos, azt a tárgy tartó keménysége befolyásolja. Ezért a vizsgált anyag vagy réteg vastagsága a benyomódás h mélységének legalább tízszerese legyen ($S = 10 h$).

A keménység mérőszámát három számjegy pontossággal kell megadni, pl. 132; 85,7.

Abban az esetben - ha a golyó átmérője 10 mm,
a vizsgálati terhelés 29430 N (3000 kp)
és a terhelési idő 10..15 másodperc -
a keménységet csak HB jellel kell jelölni. Pl. 132 HB.
Egyéb vizsgálati körülmények esetén a HB jelet ki kell egészíteni a vizsgálat körülményeit meghatározó számértékekkel, az alábbi sorrendben: golyóátmérő,
vizsgálati terhelés,
terhelési idő.

Az értékeket egymástól törtvonallal kell elhatárolni, pl.:
178 HB 5 / 750 / 10, ami

5 mm átmérőjű golyóval,
7355 N (750 kp) vizsgálati terheléssel,
10 másodperc terhelési idővel

meghatározott 178 Brinell-keménységet jelent.

Csak azok a keménységmérések adnak egymással teljesen összemérhető értéket, melyeknél ez a három adat ugyanaz, azonban

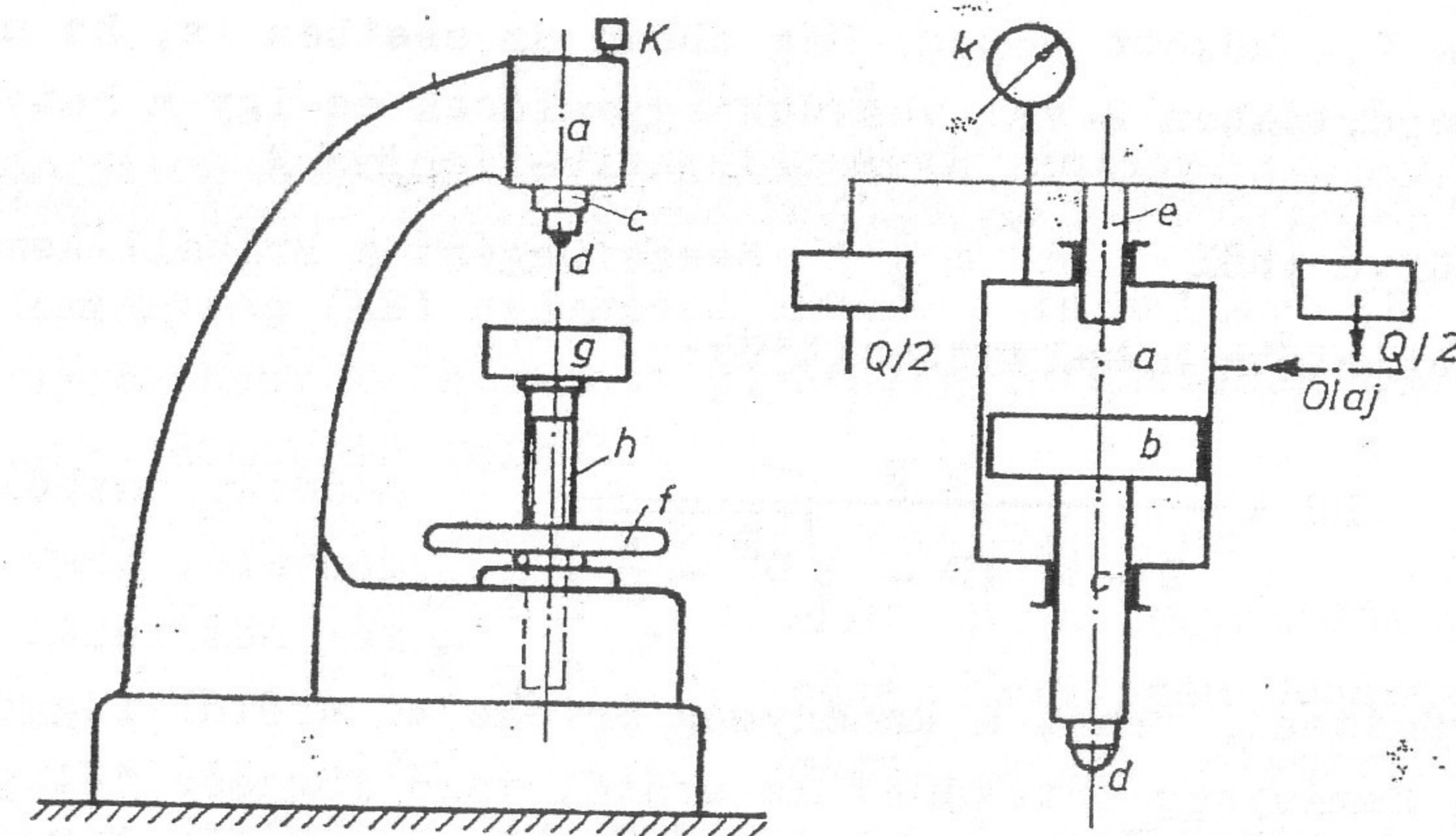
azok a mérések, melyeknél az erő és a golyóátmérő megválasztása az előbb leírt elvek szerint történik, gyakorlati pontossággal egyező eredményeket adnak.

$$\frac{F_1}{D_1^2} = \frac{F_2}{D_2^2} = \dots = \text{konstans.}$$

Nincs általános eljárás a Brinell-keménységnek más keménységre vagy szakítószilárdságra való átszámítására. Az ilyen átszámításokat kerülni kell, kivéve amikor összehasonlító vizsgálatokból megbízható átszámítási alap áll rendelkezésre.

A Brinell-, Vickers- és Rockwell keménységek összehasonlítására az MSz 105/13 csak tájékoztató értékeket közöl.

A Brinell-keménységvizsgáló berendezések egyik jellegzetes alakja az úgynevezett Brinell-prés (53. ábra).



53. ábra

A Brinell-prés elvi vázlata

A présnek egy megfelelően méretezett öntött állványzata van, melyre a tárgy tartó asztal (g) egy laposmenetű csavarorsóval (h) csatlakozik. Az f kézikerek segítségével a tárgy tartó asztal emelhető és süllyeszthető.

Az öntvény felső részén van az a henger elhelyezve, melyben két dugattyú működik. A nagyobb átmérőjű alsó b dugattyú rúdja van felszerelve a c golyótartó szerszám olyan kivitelben, hogy a golyók cserélhetők legyenek. A henger felső részén levő kis dugattyú (e) rúdja van szerelve egy kar, amelyre súlyterhelést lehet helyezni. A henger oldalán levő csapon keresztül szivattyú segítségével a hengerbe olajat lehet nyomni, az olaj nyomását a k manométer mutatja. Az olajnyomás hatására az alsó dugattyú lefelé, a felső pedig felfelé fog elmozdulni. Minden körülmények között a hengerben lévő olaj nyomása

$p = \frac{Q}{A_1}$ lesz, ahol Q a terhelősúlyok összege, A_1 pedig a kis dugattyú felülete.

A golyóra ható erő $F = p \cdot A_2$, vagyis a nagy dugattyú felületére ható nyomás eredője.

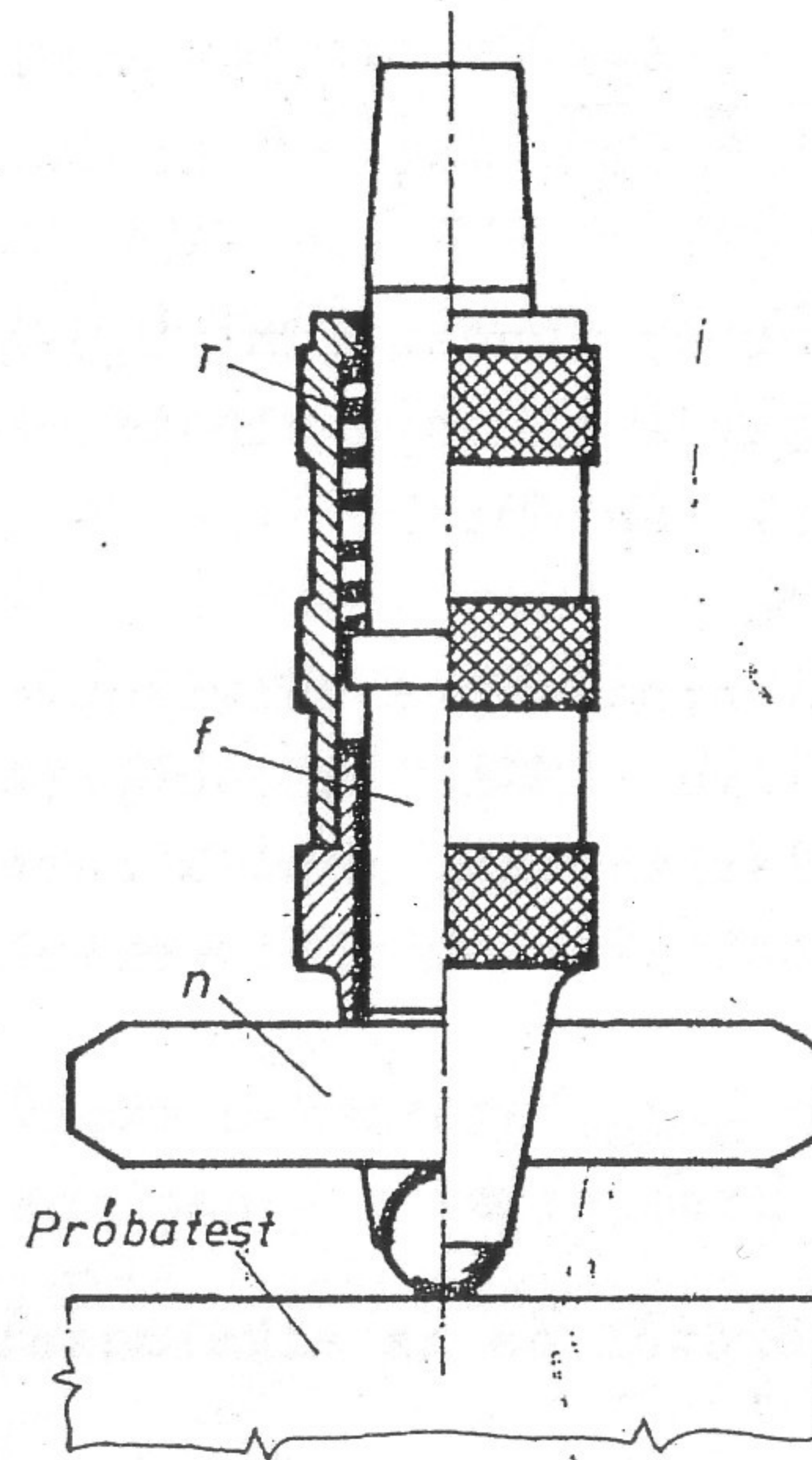
A p értékének behelyettesítésével:

$$F = \frac{Q \cdot A_2}{A_1}, \text{ tehát a golyóra ható erő a két dugattyú-}$$

felület arányában lesz nagyobb, mint a Q terhelősúly és nem függ a beszivattyúzott olaj mennyiségétől.

A laboratóriumi keménységmérők általában csak kisebb tárgyak vizsgálatára alkalmazhatók. Előfordul, hogy nagyobb, vagy a laboratóriumba be sem szállítható tárgy keménységét kell meghatározni. Ilyenkor a Brinell-keménységmérés elvén alapuló ún. Poldi-kalapácsot szokás alkalmazni (54. ábra). A Poldi-kalapács összehasonlító keménységmérésekre szolgál. A golyótartóba egy 10 mm átmérőjű golyó van lazán befogva. Az r rugó az f rudat állandó erővel szorítja az n ismert keménységű testhez. Ennek következtében az n jelű etalon is a folyóra fekszik fel.

A golyót a vizsgálandó tárgyra helyezve és egy kalapáccsal az f rúd végére ütést mérve, a tárgyon valamilyen d_x , az



54. ábra

A Poldi-kalapács szerkezete

A két egyenlet egymással elosztva, továbbá a számlálót és nevezőt D-vel végigosztva, az összefüggés a következő alakba írható:

$$\frac{HB_n}{HB_x} = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d_x}{D}\right)^2}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d_n}{D}\right)^2}}$$

A négyzetgyök alatt álló kifejezés igen jó közelítéssel Taylor-sorba fejthető. Általában egy $(1-x)^n$ alakú polinom kifejtése a következő:

$$(1-x)^n = 1 - \binom{n}{1}x + \binom{n}{2}x^2 \dots \text{ ha } n = \frac{1}{2},$$

akkor $(1-x)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2}x + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}x^2 \dots$ esetünkben

$$x = \frac{d_x^2}{D^2},$$

n jelű próbatesten pedig d_n átmérőjű lenyomat keletkezik. Az ütés következtében fellépő F erőhatás mindkét tárgyra nézve ugyanaz, tehát a Brinell-keménység fogalmazása szerint

$$HB_n = \frac{2F}{D \cdot \pi \left(D - \sqrt{D^2 - d_n^2} \right)},$$

az ismeretlen keménységű tárgynál pedig

$$HB_x = \frac{2F}{D \cdot \pi \left(D - \sqrt{D^2 - d_x^2} \right)}$$

tehát a $\sqrt{1 - \frac{d^2}{D^2}} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{D^2} + \frac{1}{8} \left(\frac{d^2}{D^2}\right)^2 \dots$

Figyelembevételre azt, hogy a $\frac{d}{D}$ viszony rendszerint 0,5-nél kisebb, a sorbafejtés harmadik tagja elhanyagolható, mert még 0,5-el számolva is a harmadik tag értéke

$\frac{1}{8 \cdot 16}$, tehát kevesebb mint 1 %.

A sorbafejtés után az elkövetett hiba még a váltakozó előjelű többi tagot is elhanyagolva 1 %-nál kisebb, és mivel ez a sorbafejtés mind a számlálóban, mind a nevezőben megtörténik, a hiba az előbbieken mondott értékénél még kisebb lesz.

A sorbafejtés és behelyettesítés után

$\frac{HB_n}{HB_x} = \left(\frac{d_x}{d_n}\right)^2$, tehát a golyó átmérőtől és az alkalmazott

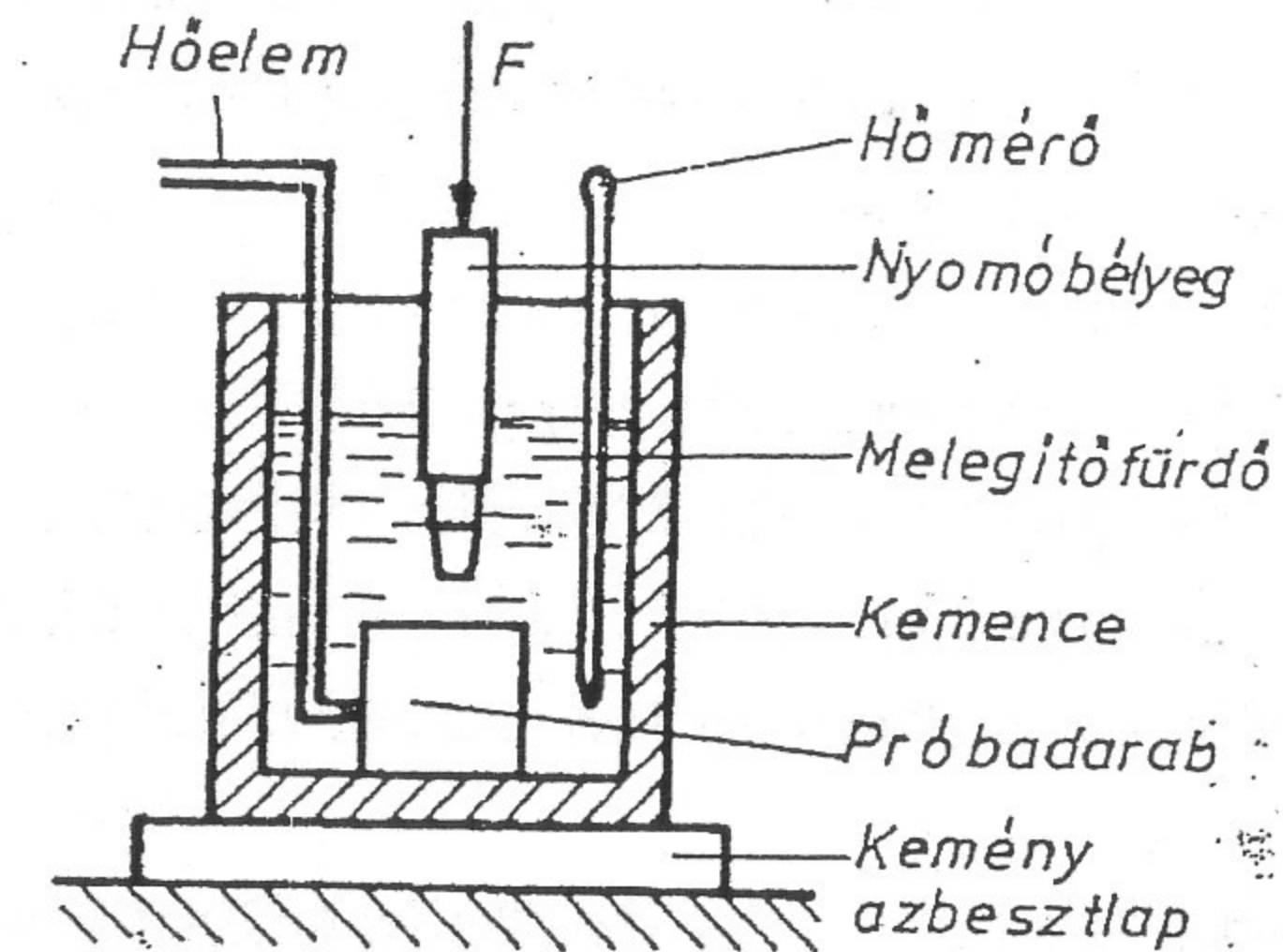
erő nagyságától függetlenül, a két anyag keménységének viszonya a lenyomatátmérők négyzetével fordítottan arányos.

A lenyomatok átmérőit két egymásra merőleges mérés középértékeként kell meghatározni tizedmilliméter pontossággal. Ezzel az eljárással egy rendkívül egyszerű és kielégítő pontosságú mérési módszer áll rendelkezésre olyan tárgyak keménységének meghatározására, melyek laboratóriumban nem vizsgálhatók.

2.3.2 Keménységmérés Brinell-szerint meleg állapotban

A fémeken és ötvözeteken meleg állapotban (40..900 °C között) történő Brinell-keménység mérésre általában érvényesek az előzőekben ismertetett 10..35 °C közötti vizsgálatra vonatkozó előírások, azzal az eltéréssel, hogy a próbadarabot és a nyomótestet a benyomódás ideje alatt a vizsgálati hőmérsékleten ± 10 °C határon belül kell tartani. A vizsgálatot semleges gázatmoszférában vagy vákuumban kell végezni a próbatest oxidációjának megakadályozására. Külön megállapodás alapján sófürdő is alkalmazható.

Az egyenletes hőmérsékletet a melegítő berendezés (55. ábra) villamos fűtéssel biztosítja.



55. ábra

Brinell-keménységmérés meleg állapotban

A melegítő berendezést a próbatesttel együtt kell felfűteni a kívánt hőmérsékletre. A 200 °C feletti vizsgálatokhoz wolframkarbid golyót kell alkalmazni a deformáció elkerülésére.

Egyéb eltérések az MSz 105/9 előírásaitól:

- A terhelési tényező értéke maximum $K = 10$ lehet, hogy a lenyomat átmérője $0,25 D$ és $0,6 D$ között maradjon.
- A vizsgálati terhelés időtartama - ha más előírás nincs - 30 másodperccel legyen több a szobahőmérsékleten végzett vizsgálatokénál.
- A benyomódás átmérőjét a próbatestnek szobahőmérsékletre történő revegmentes lehülése után kell mérni az MSz 105/9-ben előírt pontossággal.
- Ha egy anyag a vizsgálati hőmérsékleten szövetszerkezetében és így keménységében megváltozik (pl. szegregáció, allotróp átalakulás folytán), akkor a próbatestet a vizsgálat előtt a kísérleti hőmérsékleten meg kell ereszteni. Az ilyen ötvözetek keménysége szempontjából nem közömbös a felmelegítés sebessége, továbbá az, hogy a

vizsgálatot az előírt hőmérsékleten azonnal vagy csak egy meghatározott idő múlva végezzük el.

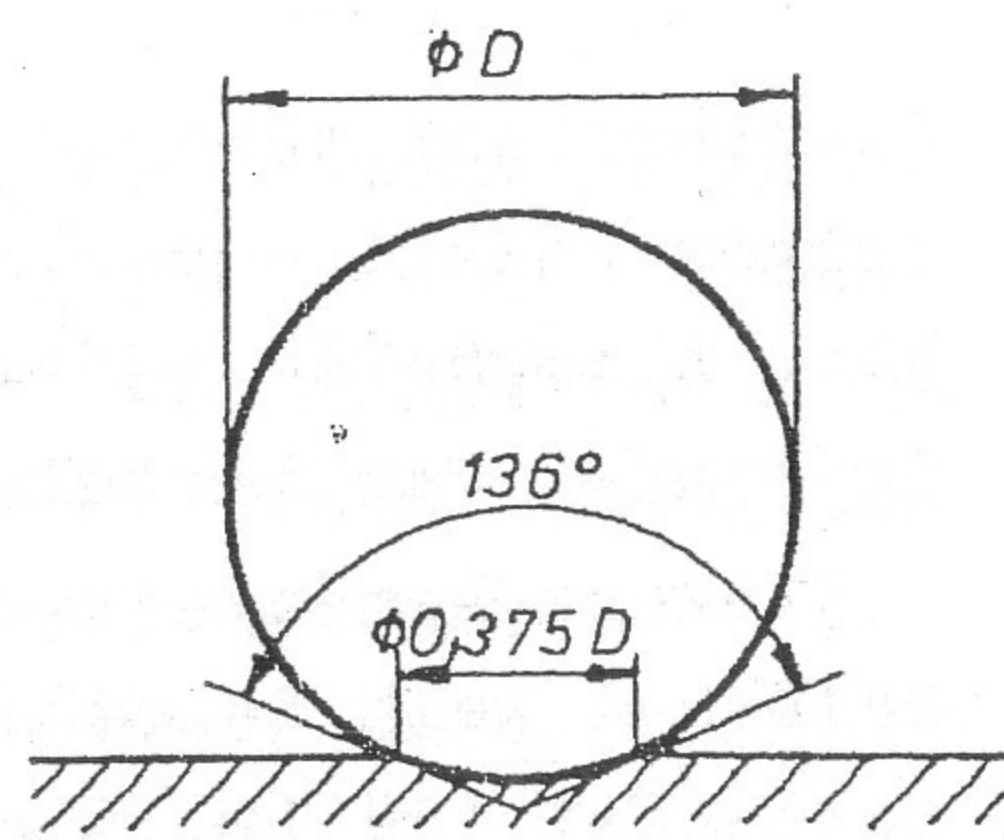
- A vizsgálati eredménynek egy próbatesten végzett legalább két mérés számtani átlaga számít, olyan feltétel mellett, hogy a két mérés közötti eltérés nem lehet nagyobb, mint a számtani átlag 10 %-a.

2.3.3 Vickers-keménységmérés

A Brinell-keménységmérés alkalmazásának számos korlátja van. Egyrészt a nagyobb keménységi értékeknél - 400 HB tájékán - maga a Brinell-golyó is deformálódik, ennek következtében a lenyomat nagyobb átmérőjű lesz, a Brinell-keménység tehát az anyagot lágyabbnak mutatja, mint amilyen a valóságban. A másik hátránya a Brinell-keménységmérésnek az, hogy helyi keménységváltozásokat nem lehet vele meghatározni. Pl. felületi edzéssel készült tárgyak kemény kérgé túl vékony ahhoz, hogy akár a legkisebb átmérőjű Brinell-golyóval is külön lehessen mérni a kemény kéreg és a lágyabb mag közötti keménységkülönbségeket.

Ezeknek a hátrányoknak a kiküszöbölésére szerkesztették a Vickers-keménységmérőt, amely a Brinellhez hasonló elvi alapokon van felépítve, azzal a különbséggel, hogy acélgolyó helyett szűrőszerszámul gyémántgúlát alkalmaznak. A Vickers-keménységméréshez használt szerszám úgy van meghatározva, hogy az általa adott értékek lehetőség szerint a Brinell-keménységgel egyezzenek.

Mivel a Brinell-golyó által eredményezett lenyomatok középértéke $d = 0,375 D$ körül mozog, egy olyan behatolásnál, amely éppen a fenti lenyomat-átmérőt eredményezi, a gömbhöz a lenyomati kör mentén szerkesztett négyszögletű gúla lapszöge 136° -nak adódik (56. ábra).



56. ábra

Vickers-gyémánt lapszögének megállapítása

Ezek szerint a Brinell-golyó hatását legnagyobb valószínűséggel és legjobban a 136° lapszögű gúla lenyomata közelíti meg. A Vickers-keménységmérés szűrőszerszáma gyémántból készül, ennek következtében az a hátrány, melyet a Brinell-golyó deformációja jelent, ki van küszöbölve. A gyémántgúla a dolog természete szerint jóval kisebb a Brinell-golyóknál és az általa hagyott lenyomatok méretei 0,1 mm-es nagyságrendben mozognak. A lenyomat méreteinek meghatározására ezért 50..100-szoros nagyítású mikroszkópot szokás használni, amely a gépállványzatra elfordíthatóan van felszerelve.

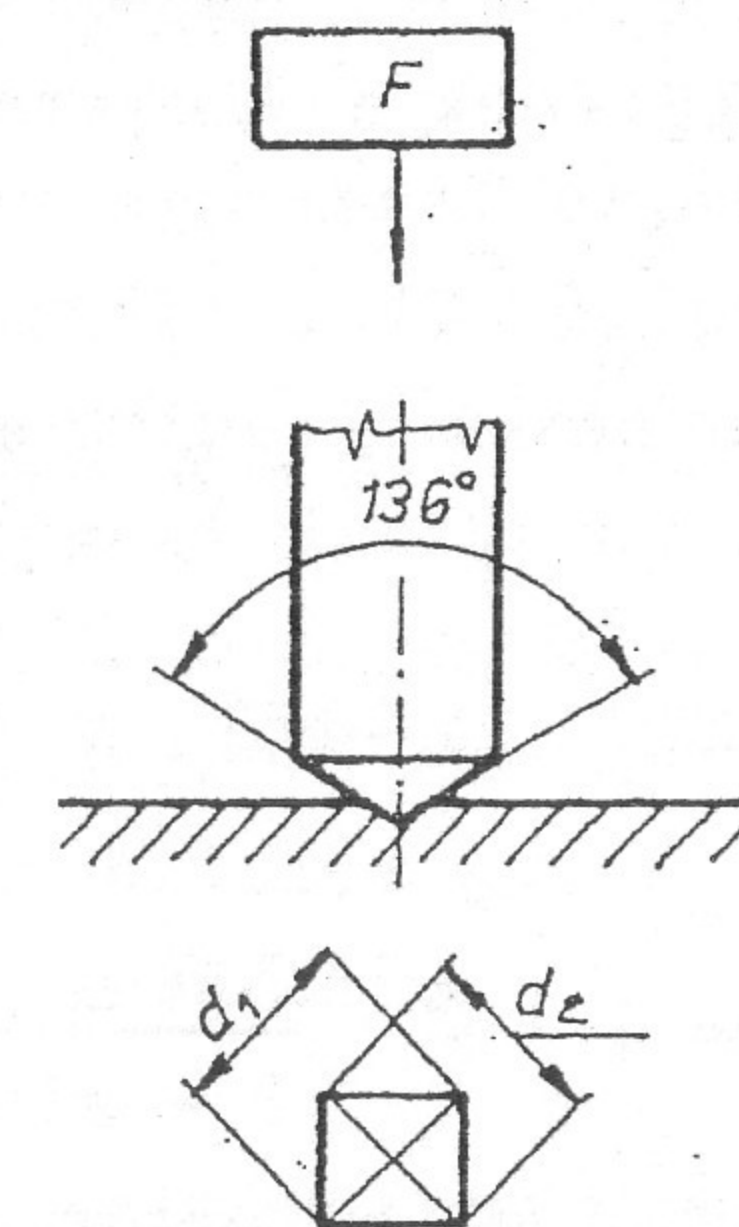
Vickers-keménységen - a Brinell-keménység fogalmához hasonlóan - a terhelőerő (kp) és a gúla alakú lenyomat-felület (mm^2) viszonyát értik, dimenzió nélkül.

$$HV = \frac{F}{A}, \text{ ill. } HV = 0,102 \frac{F}{A}, \text{ ha } F\text{-et N-ban fejezzük ki.}$$

A vizsgálat elvi elrendezését az 57. ábra mutatja.

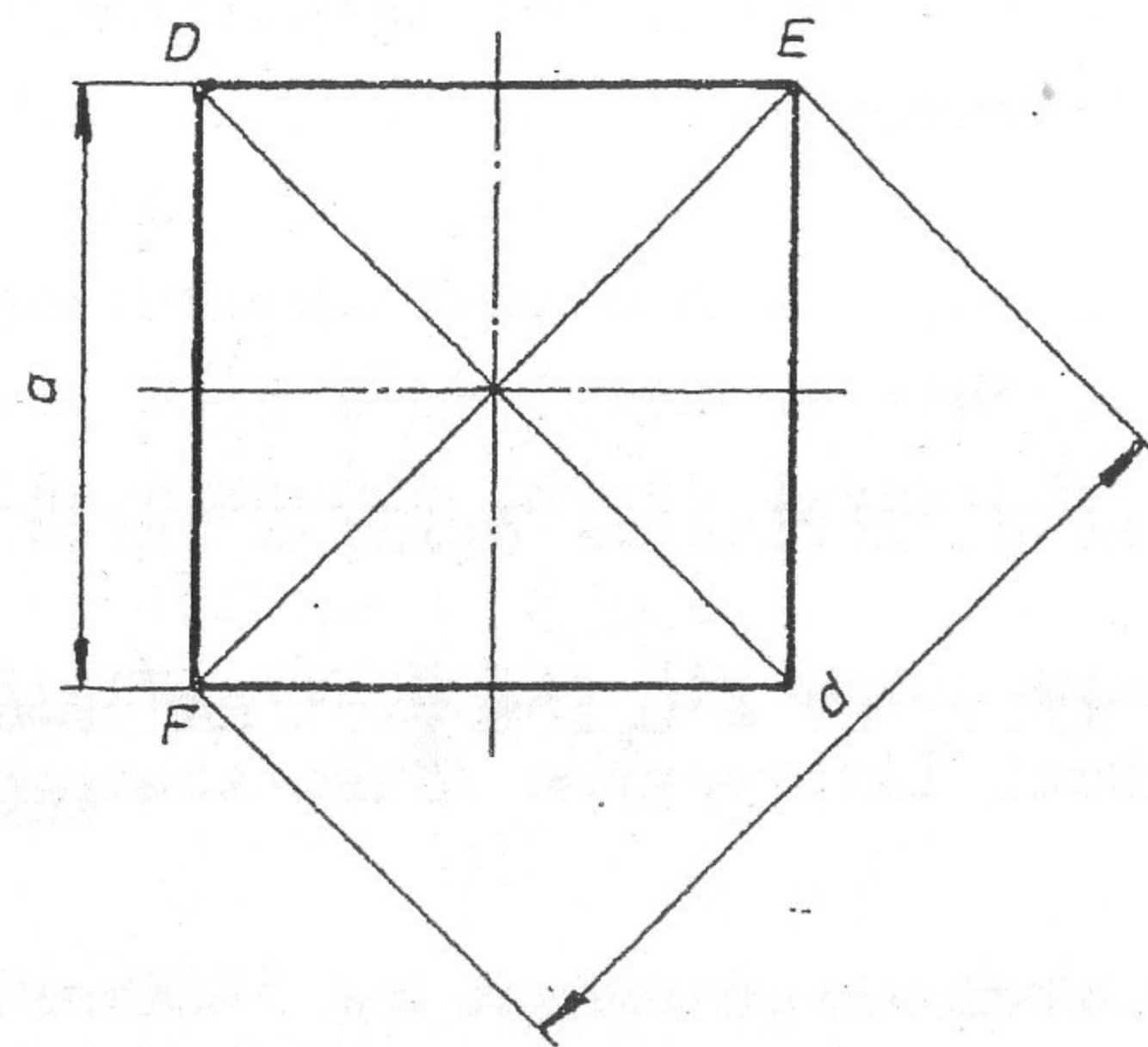
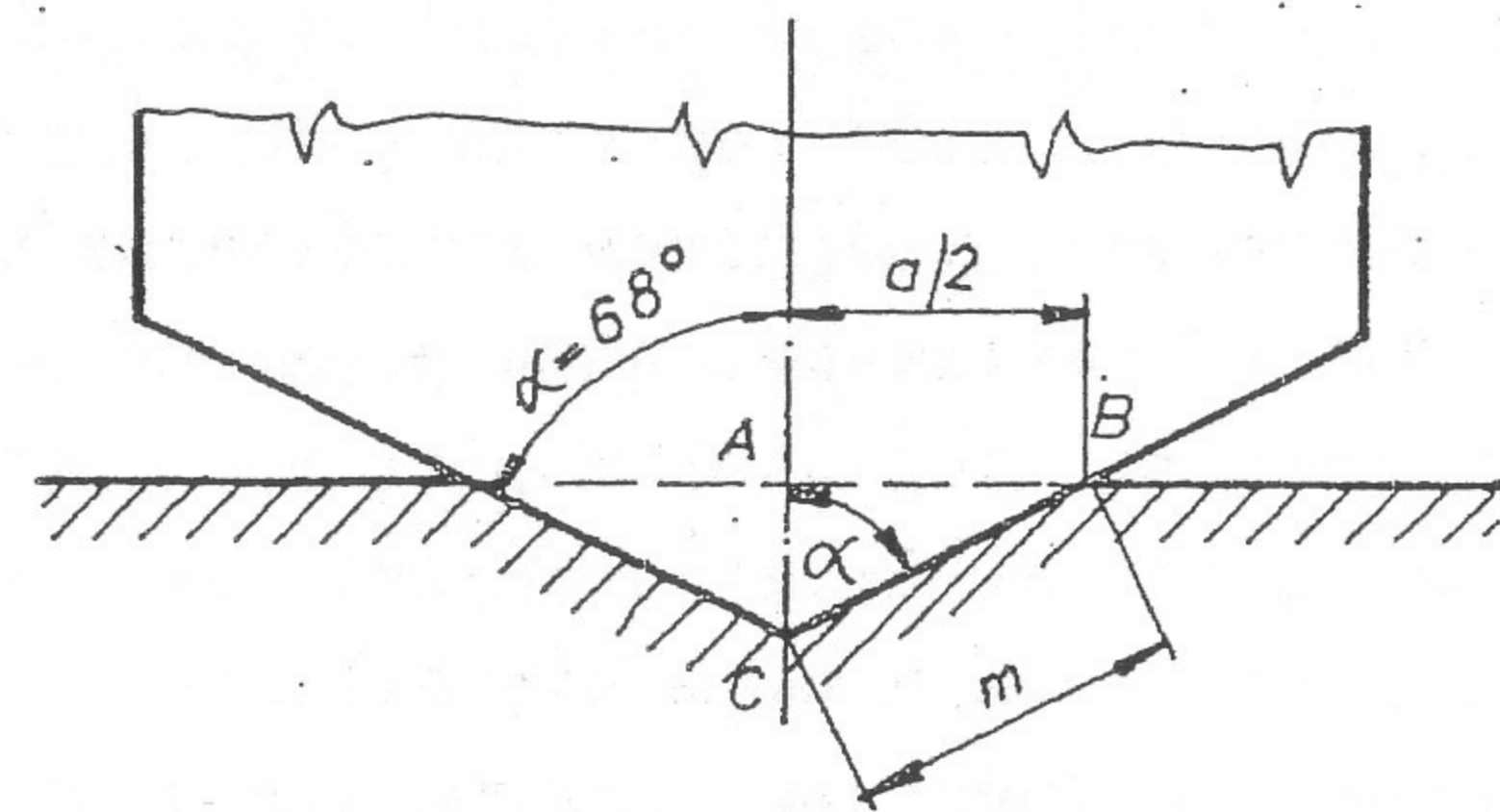
Az A felület kiszámítása a négy-szög alakú lenyomat átlóinak lemérése után történik. Ha d_1 és d_2 a lenyomat két átlója, akkor

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ középértékből kell a négy egybevágó háromszögből álló felületet kiszámítani (58. ábra).}$$



57. ábra

A Vickers-keménységmérés elvi elrendezése



58. ábra

Jelölések a Vickers-lenyomat felületének meghatározásához

$$A = 4 \cdot \frac{a \cdot m}{2}$$

Az ABC Δ -ből $m = \frac{a}{2 \cdot \sin \alpha}$, ezt helyettesítve

$$A = 4 \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{2 \cdot \sin 68^\circ} = \frac{a^2}{\sin 68^\circ}, \text{ a négyzet oldalát}$$

az átlóval kifejezve:

$$A = \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ} = \frac{d^2}{1,854} \cdot \text{A Vickers-keménység ezek}$$

szerint:

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

A HV nagysága és az F között szintén érvényes az $F = a \cdot d^n$ Mayer-féle hatványtörvény. Ennek figyelembevételével a

$$HV = 0,189 \cdot a \cdot d^{n-2}$$

Mivel az n értéke 2-höz közeleső szám, a d hatványát megközelítően egységnek lehet tekinteni. A Vickers-keménység értéke a d nagyságától függ, és független a terheléstől. A terhelőerő megválasztását ezért csupán az a körülmény szabja meg, hogy megfelelő méretű, jól mérhető lenyomat álljon rendelkezésre. A terhelés megválasztására tehát a tárgy keménysége az irányadó, ezen kívül szerepet játszik a tárgy, vagy a vizsgálandó réteg vastagsága, melynek legalább a lenyomatátoló 1,5-szeresének kell lenni.

A terhelést ennek megfelelően a próbatest, vagy réteg vastagsága és a várható Vickers-keménység függvényében, a szabványban közölt nomogramból tudjuk meghatározni. A vizsgálati terhelések 9,8 és 980 N között meghatározott értékekre szabványosítottak, melyek közül a nomogramból meghatározott terhelőerőhöz eső legközelebbit kell alkalmazni.

Ajánlott vizsgálati terhelések:

vas és acélra	49... 980 N,
rézre és ötvözeteire	24,5... 490 N,
aluminiumra és ötvözeteire	9,8... 980 N.

A vizsgálati terhelést a felületre merőlegesen lökés, rezgés nélkül egyenletesen kell ráadni az előírt értékig. A terhelés időtartama, ha a termékre vonatkozó előírás mást nem tartalmaz, 10...15 s.

A Vickers-keménységet a keménység számértékével és a HV betűkkel kell jelölni, ha a terhelés 294 N (30 kp) és a terhelési idő 10...15 sec. Ha a terhelés vagy a terhelési idő a fentiekől eltér, akkor a HV betűjel után a vizsgálati terhelést kp-ban, a terhelési időt s-ban egymástól törtvonallal elválasztva meg kell adni.

Példák:

640 HV = 640 Vickers-keménység 294 N (30 kp) terheléssel és 10..15 s terhelési idővel mérve,

vagy

720 HV 50/10 = 720 Vickers-keménység 490 N (50 kp) terheléssel és 10 s terhelési idővel mérve.

Vickers szerint főképpen lemezeken, fóliákon és edzett rétegeken 0,0098... 4,905 N (0,001... 0,5 kp) terheléssel végezhetünk ún. mikrokeménység-mérést.

A mikrokeménységet a keménység számértékével, a HV betűkkel és a vizsgálati terhelés kp-ban kifejezett számértékével kell jelölni. A terhelési időt, ha az eltér 10..15 sec-tól, törtvonallal elválasztva kell megadni.

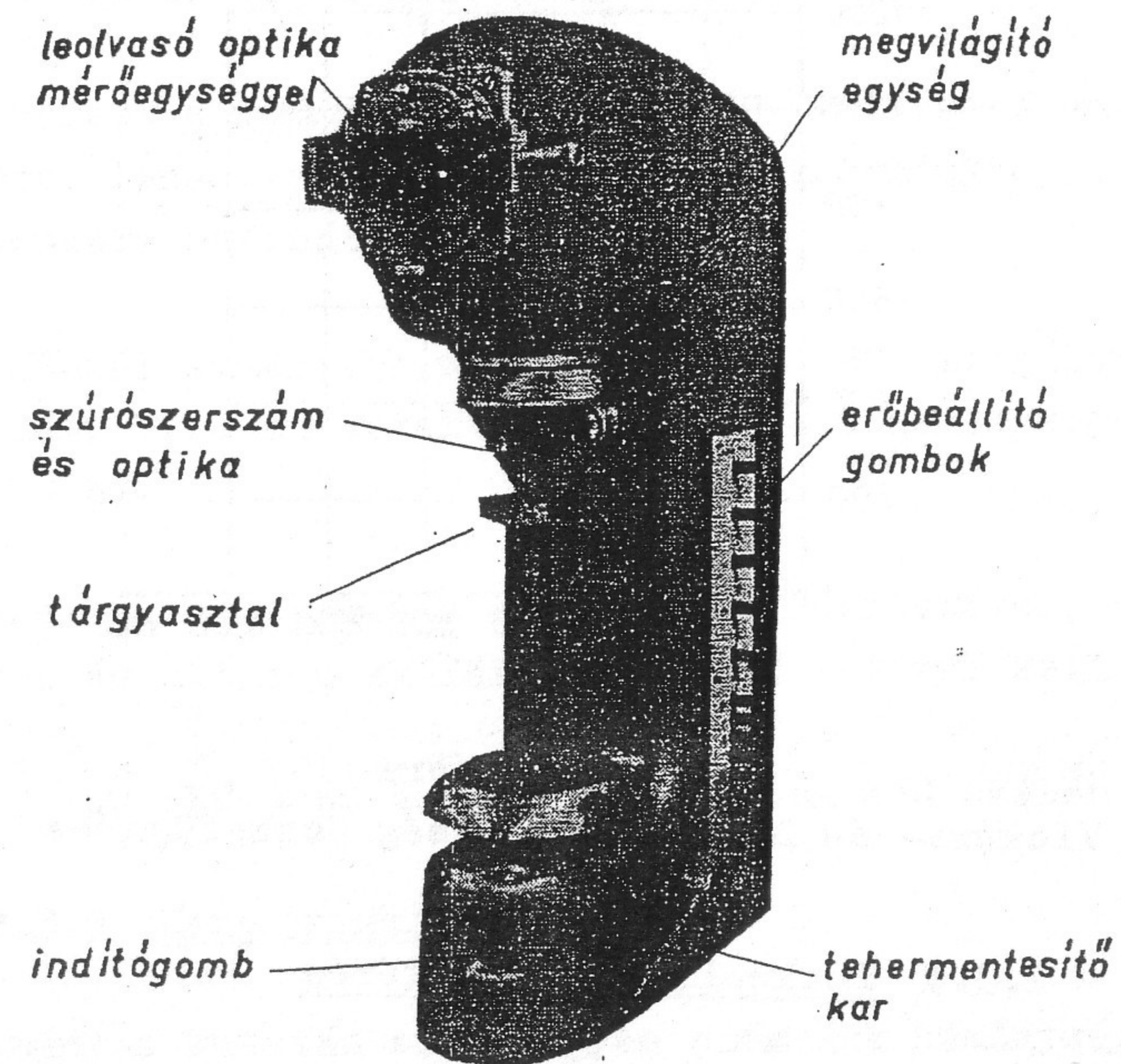
Példák:

640 HV 0,01 = 640 Vickers-mikrokeménység, 0,098 N (0,01 kp) terheléssel mérve 15 másodperc terhelési idővel.

640 HV 0,1/30 = 640 Vickers-mikrokeménység, 0,98 N (0,1 kp) terheléssel mérve 30 másodperc terhelési idővel.

A korszerű gépeknél a Vickers- és Brinell-keménységmérő rendszerint egy gépegységbe van összeépítve. A súlyterhelési fokozatok mindkét rendszer követelményeinek megfelelően vannak a gépbe beépítve, a leolvasás pedig optikai úton történik, ahol a cserélhető lencserendszer segítségével kisebb nagyításban vetíthető ki a Brinell-lenyomat és nagyobb nagyításban a Vickers.

Egy ilyen Vickers- és Brinell keménységmérés céljára egyaránt használható gép fényképét az 59. ábra mutatja.

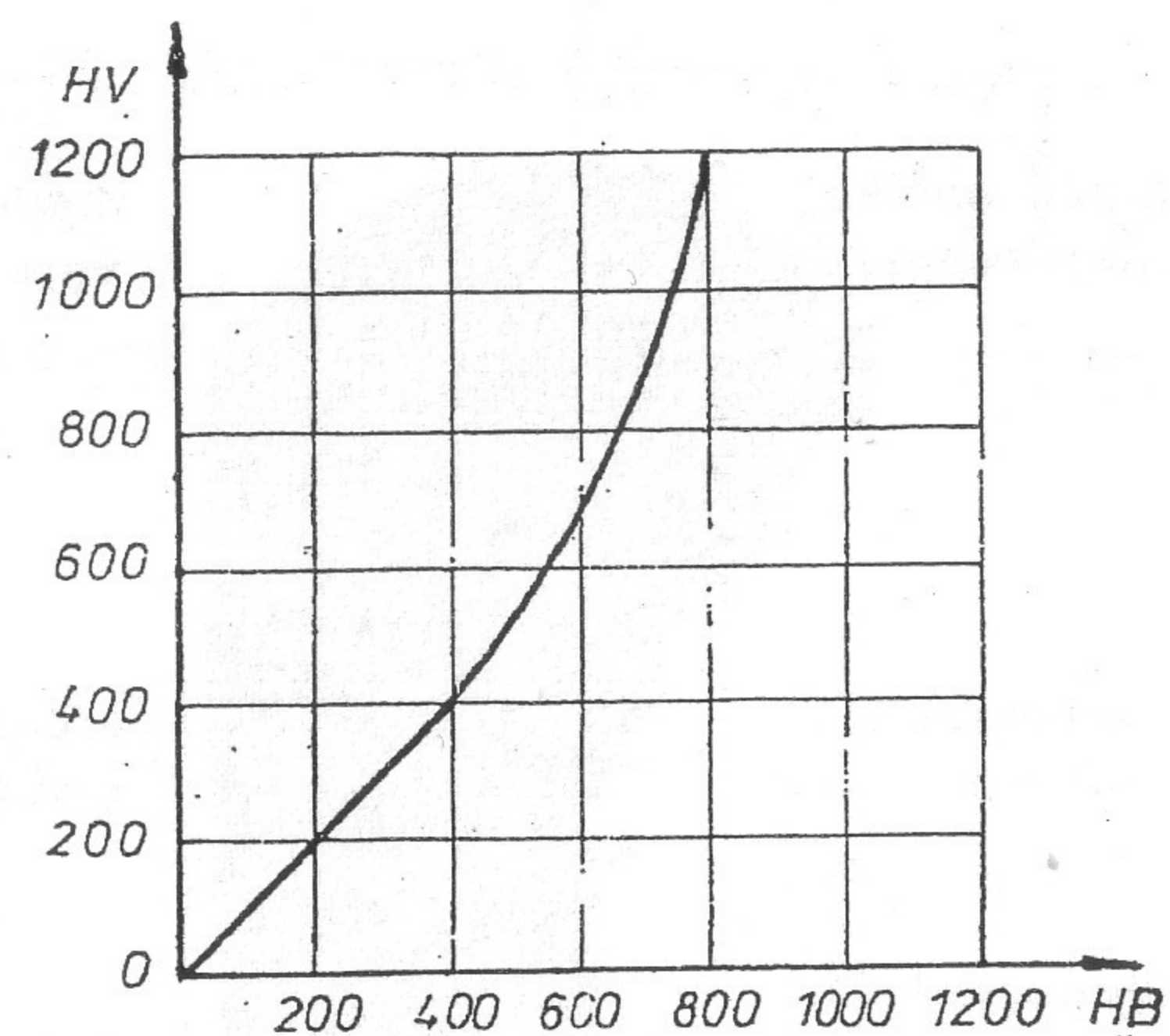


59. ábra
Univerzális keménységmérő

A Brinell- és Vickers keménységmérés egymással egyező értékeket szolgáltat egészen 400 HB értékig. 400 Brinell után kezdődik az eltérés, ahol is a Brinell-mérés a golyó ellapulása miatt kisebb keménységi értékeket eredményez, mint a Vickers (60. ábra). Az eltérés kisebbé válik akkor, ha a Brinell-keménységmérésnél keményfém-, vagy gyémántgolyót használnak, de az eltérés gyémántgolyó esetén is 750 Vickers tájékán elkezdődik.

A Brinell- és Vickers keménység tapasztalat szerint az ötvözetlen, vagy gyengén ötvözött acéloknál arányos a szakítószilárdsággal. Normalizált vagy lágyított acéloknál az alábbi arányosság írható fel:

$$R_m \approx 30 \cdot HB$$



60. ábra

Vickers- és Brinell-keménység összefüggése

2.3.4 Rockwell-keménységmérés

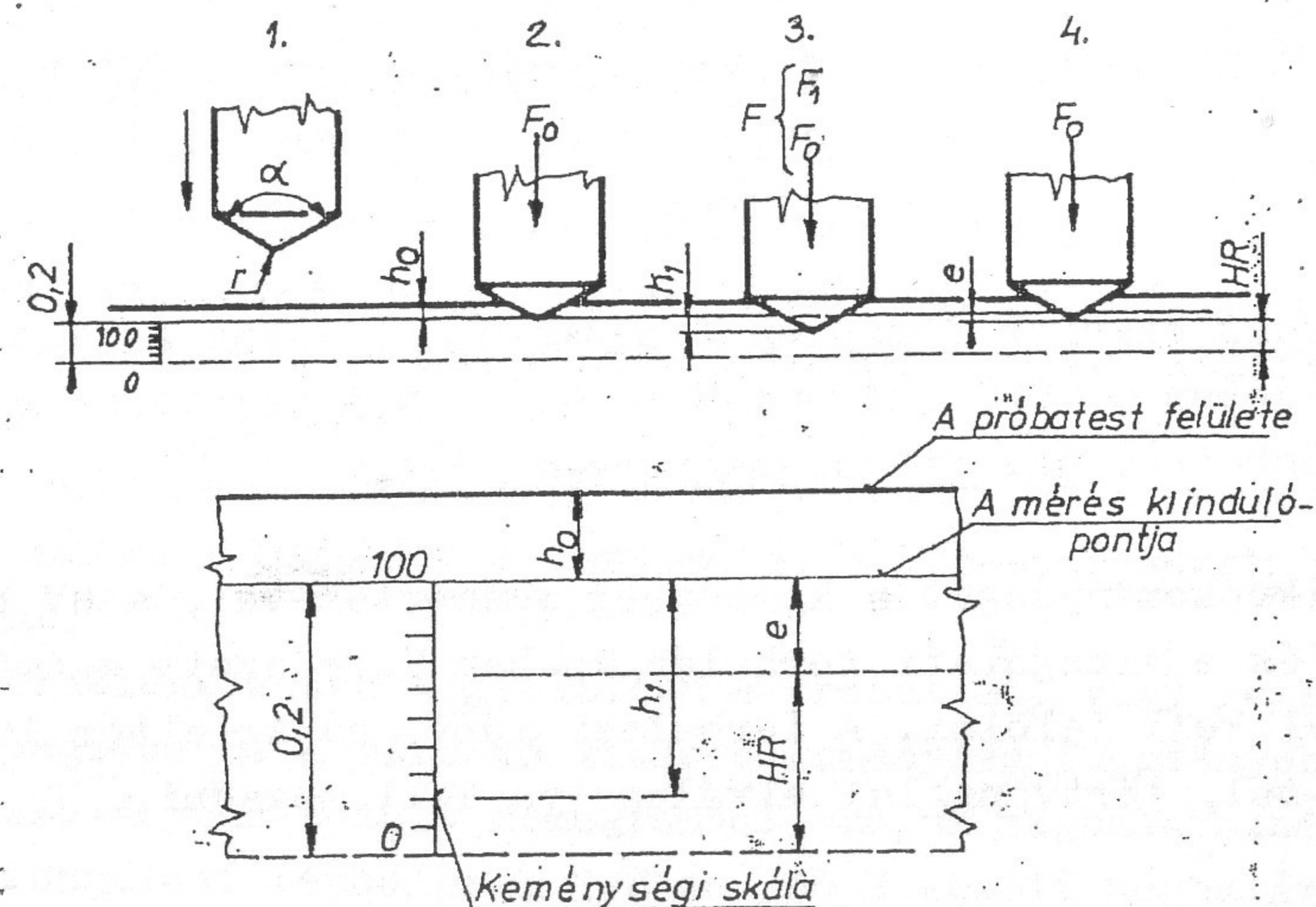
A Brinell- és a Vickers-keménységmérési eljárásoknál a mérést lassítja az, hogy a szúrószerszám behatolása után külön mikroszkópikus leolvasás szükséges és ezután a keménységi mérőszámot még ki kell számítani, vagy táblázatból kikeresni.

A Rockwell-keménységmérés ennek kiküszöbölésére nem a lenyomat átmérőjének, vagy átlójának mérésével dolgozik, hanem közvetlenül méri a lenyomat mélységét.

A szúrószerszám alakja szerint a Rockwell-keménységek két csoportját különböztetjük meg. 120° -os csúcshögű gyémántkúpot használunk a HRA és HRC, 1,59 mm (pontosan 1/16") átmérőjű edzett acélgolyót a HRB keménység mérésékor.

A Rockwell-keménység mérőszáma a maradó benyomódás mélysége 0,002 mm-ben kifejezve. Mivel aránylag igen kis benyomódás ad már egy Rockwell-egységet, igen sok kezdeti hibát jelentené az, ha a felülethez való illesztés a vizsgálatot végzőre volna bizva, amihez további hibaforrásként járulna az anyag rugalmas visszahatása, amely

egymagában is ebben a nagyságrendben mozog. Ezért előterhelés szükséges, amely után egy jól meghatározott bemélyedési pontról indul meg a tulajdonképpeni mérés. A HRA és HRC mérés menetét a 61. ábra mutatja.



61. ábra

A Rockwell-keménységmérés vázlatja

A keménységmérés menete a következő:

1. A nyomótestet és a vizsgálandó tárgy felületét egymásra merőlegesen érintkezésbe hozzák.
2. Lökés és rázkódás nélkül ráadják az $F_0 = 98 \text{ N}$ előterhelést, mire a gyémántkúp h_0 mm mélységig benyomódik a tárgy felületébe. Ez a benyomódás arra hivatott, hogy a mérés kiindulópontja legyen, tehát a mérőóra skálájának 0 pontját a h_0 benyomódásnak megfelelő mutatóálláshoz fordítják.
3. A második fokozatban a nyomótest terhelését 2-8 másodperc alatt az F_1 főterheléssel kell megnövelni, amely

490 N a HRA, és
1373 N a HRC keménységmérésnél.

A főterhelés hatására a benyomódás mélysége h_1 mm-rel megnövekszik.

A teljes terhelés $F = F_0 + F_1 =$

$$98 + 490 = 588 \text{ N az A skálára,}$$

$$98 + 1373 = 1471 \text{ N a C skálára.}$$

4. Amikor a lenyomat kialakult, a mélységmérő mutatója megállt (az anyag keménységétől függően 2...25 másodperc után) az F_1 főterhelést meg kell szüntetni és csak az F_0 előterhelést kell fenntartani. Ekkor a szűrőszerszám a rugalmas benyomódás mértékével megemelkedik és a mélységmérő annak arányában visszafordul. A mélységmérő így a főterhelés okozta maradó alakváltozást (e) mutatja 0,002 mm-ben.

Ilyen módon azonban mindig a nagyobb számértékek jellemznék a lágyabb anyagokat és megfordítva. Ennek a kényelmetlenségnek az elkerülésére teljesen önkényes alapon a Rockwell A és C keménységmérésnél az e értékét 100-ból, a Rockwell B-nél pedig 130-ból kell levonni. Ez a két számérték onnan adódik, hogy mindkettő elég magas ahhoz, hogy a levonás után negatív szám ne adódhassék. Ezek szerint a HRA és $HRC = 100 - e$

A Rockwell B mérés menete ugyanaz, mint az előzőekben ismertetett, csak a főterhelés $F_1 = 883 \text{ N}$, így az összerhelés

$$F = F_0 + F_1 = 98 + 883 = 980 \text{ N, és a mérőszám}$$

meghatározására a $HRB = 130 - e$ feltételt alkalmazzák.

A keménységmérő készülék órájának számlapját Rockwell-egységekre hitelesítik úgy, hogy a gyémántkúppal vagy acélgolyóval végzett mérések eredményei a C ill. B skáláról közvetlenül leolvashatók.

Az abszolút kemény tárgyra $e = 0$,
a HRA és $HRC = 100$, a $HRB = 130$.

A HRA mérés határai 100...1000 HV, ezzel tehát a gyakorlatban előforduló egész keménységskála mérhető.

A HRB mérést a 100...300 HB 10/3000/30 keménységű anyagok mérésére, tehát lágy és szívós anyagok keménységének meghatározására használják.

A 300 HB-nél keményebb anyagok mérése HRC vizsgálattal történhet. Pl.: az eutektoidos martenzit keménysége 66 HRC, 950 HV.

A Rockwell-keménységet a keménység számértékével, a HR betűkkel és utána a skálára vonatkozó betűvel kell jelezni.

Példa: 60 HRC = 60 Rockwell-keménység a C skálán.

2.3.5 Karc keménységmérés

A tudományos kutatás során egyes szemcsék keménységének ismeretére van szükség.

Lehet ezt a mérést a szűrő keménységmérés elve alapján végezni külön erre a célra a mikroszkóp objektívje alá szerelt kicsinyített Vickers-mérővel.

Sokkal egyszerűbb a karckeménység mérőmódszere és még előnye, hogy nemcsak egyes szemcsék, hanem egész szemcsoportok keménységét mutatja.

A karckeménység az a 0,0098 N-ban (pondokban) kifejezett terhelés, amelynek hatására egy 90° kúpszögű gyémántkúp az alatta elmozduló felületen 0,01 mm széles karcot létesít.

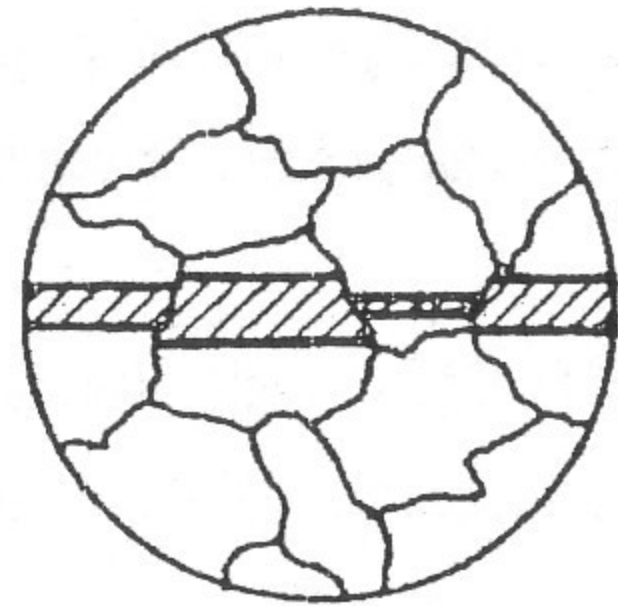
A karc keménységmérés a kis terhelés, kis karc szélesség és mélység miatt alkalmas betétben edzett, nitrált, sőt még az eloxált felületek keménységének mérésére is.

Inhomogén anyag különböző keménységű szemcséinek összehasonlító keménységmérésénél úgy járnak el, hogy adott terheléssel karcolják végig a mikroszkópi csiszolatot.

A karc szélesség az egyes szemcsék keménységének függvénye és így a különböző keménységű szemcsékben kapott karc szélessége jellemző lesz azok keménységére (62. ábra).

Hogy a keménységgel növekvő keménységi számokat kapjunk, jellemzőként a karc szélesség

reciprokát, $\frac{1}{d}$ -t adjuk meg, ahol d = a karc szélessége mm-ben.



62. ábra

Inhomogén anyag karc keménységmérése

2.3.6 Dinamikus keménységmérések

Ezek csak a végrehajtás módjában dinamikusak, mert ütéssel végzik a vizsgálatot, de eredményük statikus anyagjellemző: a keménység.

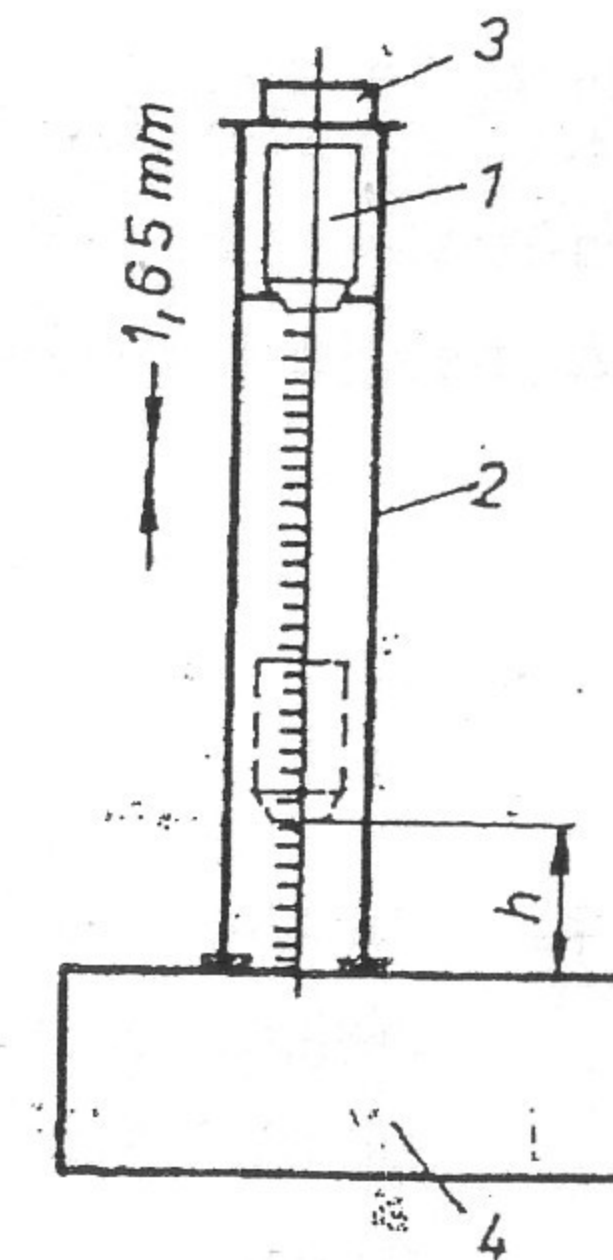
A dinamikus keménységmérésnek két fajtája van. Az egyik, amikor kalapácsütéssel nyomják a szűrőszerszámot a munkadarabra és a visszamaradt lenyomatból következtetnek a keménységre. Ilyen a Brinell-keménységmérés Poldi-féle módszere, melyet részletesen az előzőekben ismertettünk.

A másik csoportot azok a vizsgálatok képezik, amelyek a rugalmas visszahatás elvén alapulnak, abból kiindulva, hogy a keményebb tárgy rugalmasabb is, tehát rugalmas ütközés révén egy ráejtett szerszámot jobban visszalök.

A legjobban elterjedt ilyen mérőműszer az ún. szkleroszkóp, amely által mért keménységet Shore-keménységnek neveznek.

A Shore-keménységmérőnél (63. ábra) egy $\varnothing 6,37$ mm x 19,1 mm ($\varnothing 1/4$ " x $3/4$ ") méretű gyémántcsappal ellátott acélhengert (1) 254 mm (10") magasságból ejtenek a tárgyra, és a visszapattanás magasságát 1,65 mm ($65/1000$ ") osztású skálán mérik. A skála osztásvonalai a készülék üvegcső(2)

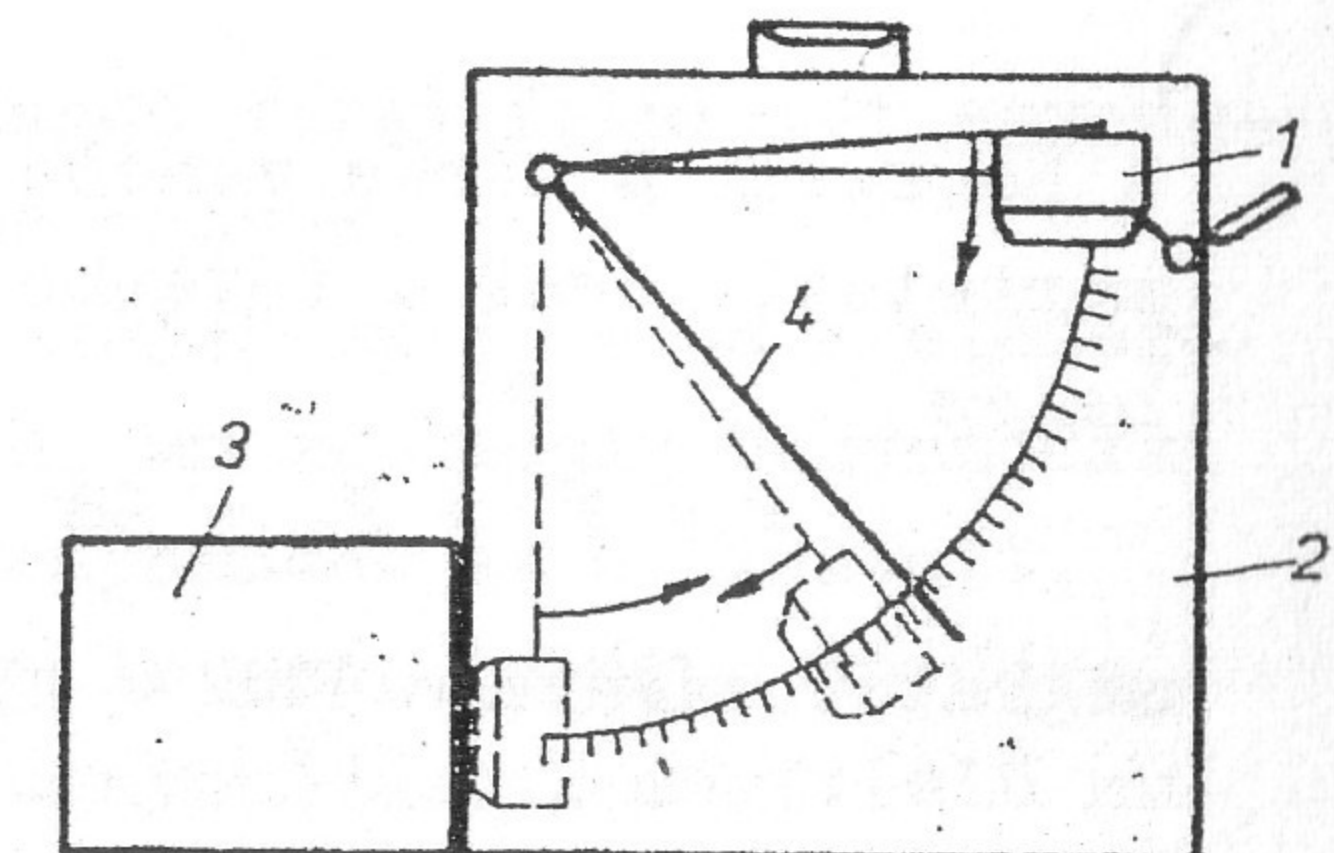
oldalán vannak bemarotva. Az acélhengert az üvegcső felső végében annak lefelé fordításakor reteszeli. Vizsgálatkor a szkleroszkópot a tetejére szerelt libella (3) segítségével lehetőleg függőlegesen állítják a mérendő tárgy (4) felületére és az acélhengert kireteszelik. A felületre eső súly visszapattanásának magasságát (h) leolvassák, ez adja meg a Shore-keménységi számot. A jobb leolvasás érdekében a visszapattanó súly egy indexet tol maga előtt.



63. ábra
Szkleroszkóp

Egy másik, azonos elven felépített mérőeszköz a durométer (64. ábra), amelynél egy kis acélkalapács (1) ingaként van felfüggesztve egy dobozban (2). A doboz oldallapjának alján lévő nyíláshoz támasztják a vizsgálandó tárgyat (3). Vizsgálatnál a felső vízszintes helyzetből kireteszelt kalapács a tárgy függőleges lapjáról visszapattanva magával viszi és a visszapattanás helyén hagyja a mutatót (4) úgy, hogy a keménységet jelző skálaosztás könnyen leolvasható.

Mindkét eljárásnak igen nagy hibája, hogy a műszer beállítása és a próbatest nagysága igen erős befolyást gyakorol a mérési eredményre. Ha a mérendő tárgy tömege túlságosan kicsi, akkor a leeső szerszám kinetikai energiájának egy része rezgéseket gerjeszt a tárgyban, és a visszapattanás nagysága jóval kisebb lesz. Ezért kisebb méretű tárgyakat vizsgálat előtt egy külön szerszámra szokás felfogni, amikor is az eredmények már jobban összehasonlíthatók.



64. ábra
Durométer

Szokás a skálákat HB-re kísérletileg megállapított értékekkel jelölni, bár általános érvényű összefüggés a két mérési mód között nincs.

A szkleroszkóp és durométer legfontosabb alkalmazási területe a hőkezelések helyességének sorozatos ellenőrzése. Itt tehát nem anyagjellemzők megállapításáról van szó, hanem csak annak tájékoztató ellenőrzéséről, hogy minden munkadarab közel azonos keménységű-e. Az ilyen azonos alakú és méretű tárgyak befogásánál lehetséges olyan befogó készülék alkalmazása, mely gyors mérés mellett annak pontosságát is fokozza.

Feladatok:

Hallgatóink a keménységvizsgálatot gyakorlaton önállóan végzik egy próbadarab keménységének meghatározását több mérési eljárással (HB, HRC, HRB és Poldi-kalapács).

Az összehasonlító táblázatokkal ellenőrizhetik az elvégzett mérések pontosságát is.

Bemutató jelleggel kerül sor a Vickers mérési eljárás és a mikrokeménységmérés ismertetésére.

A mérésről jegyzőkönyvet kell készíteni.

A keménységmérésekkel kapcsolatos szabványok:

MSz 105/8	Mikrokeménység-mérés Vickers szerint
MSz 105/9	Keménységmérés Brinell szerint
MSz 105/10	Keménységmérés Brinell szerint meleg állapotban
MSz 105/11	Keménységmérés Rockwell szerint
MSz 105/12	Keménységmérés Vickers szerint

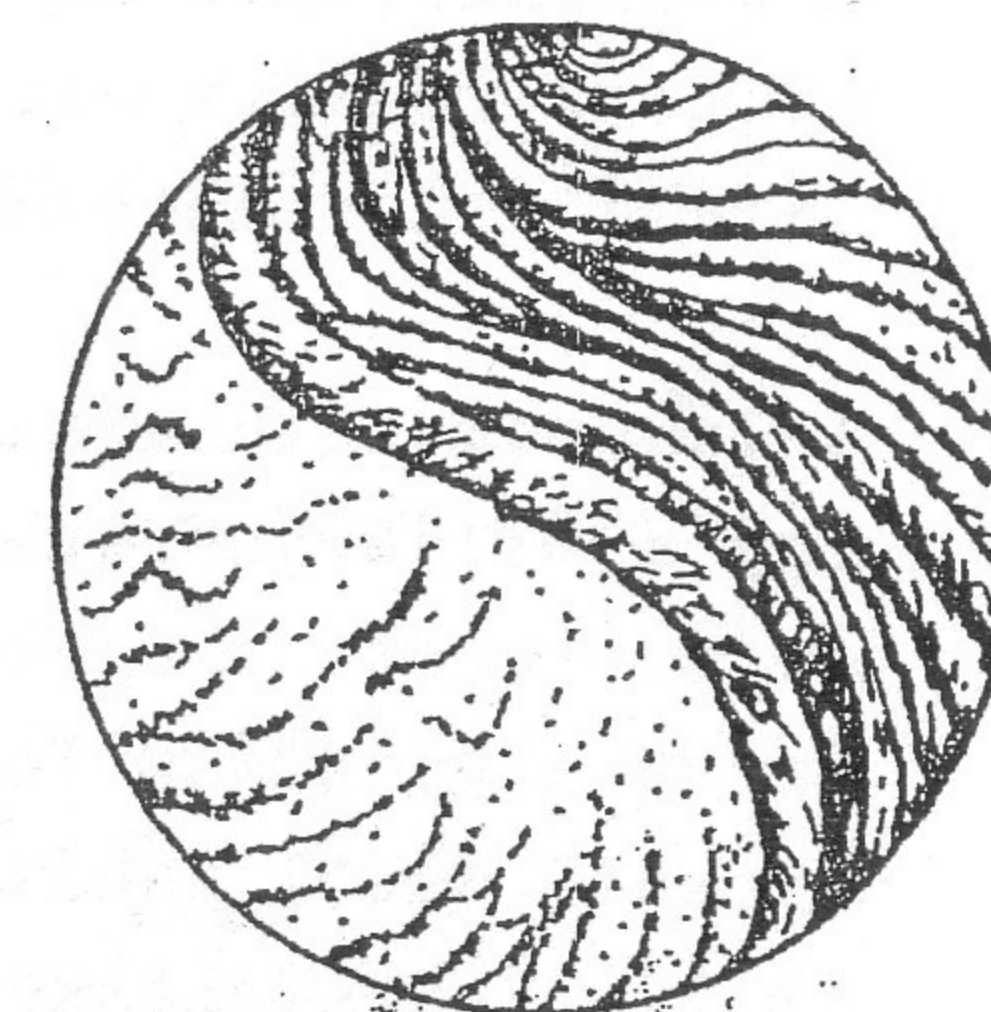
2.4 FÁRASZTÓVIZSGÁLAT

2.4.1 A fáradás jelensége

Az anyagvizsgálók a múlt század vége felé észlelték először azt, hogy egyes, változó igénybevételnek kitett gépalkatrészek hosszú igénybevételi idő után rendszeresen törnek. A régi méretezés a statikai vizsgálat alapján meghatározott megengedett igénybevételre történt. Az így méretezett azonos anyagu és gyártású vasúti kocsitengelyek közel azonos üzemidő elteltével bekövetkező törései terelték a figyelmet az anyagkifáradás jelensége felé.

A fáradásos törések a folyáshatárnál kisebb feszültségek hatására is bekövetkezhetnek és a törés környezetében látható alakváltozás nincs, ami a rideg törésre emlékeztet. Az utóbbival ellentétben azonban a fáradásos töréskor a repedés lassan alakul ki és terjed egészen az utolsó igénybevételig, amikor a maradó keresztmetszet ridegtöréssel tör szét. A fáradásos törésnek a felülete is más, mint a ridegtörésé és általában még gyakorlatlan szemmel is biztosan felismerhető. A fáradásos törétfelületet "kagylós"-nak nevezik (65. ábra) a felületen látható, kagylóhéjhoz hasonló jelek miatt. A törés sima és fényes. A ridegen tört rész ezzel szemben szemcsés, a fény felé forgatva egy-egy szemcse felcsillan. Már ez is arra vall, hogy a repedés terjedésének mechanizmusa eltér a két részfolyamatban.

Különbözik egymástól a két jelenség abban is, hogy ridegtörésnél mindig fel kell tételeznünk valamely anyaghibát, melyből a törés kiindul. Ilyen anyaghibák a valóságos anyagokban elő is fordulnak. A fáradás létrejöttéhez azonban nem kell hiba, ez bekövetkezhet egy elvileg teljesen ép anyagban is. Szükségesek azonban a rácshibák, a diszlokációk,



65. ábra

Jellegzetes fáradt törés