

# Ötvözetek szövetszerkezetének és keménységének kapcsolata

ifj. Vorsatz Brunó - Szőke Erzsébet

A keménység minden szilárd halmazállapotú anyagnak könnyen meghatározható, fontos jellemzője. A kisebb terheléssel végzett keménységmérések a szövetelemek, vékony rétegek, fóliák vizsgálatára is alkalmasak. Az anyagvizsgálat gyakorlatában a keménységvizsgálat jól használható eszköz lehet, mert az anyagszerkezeti változások nagyon gyakran keménységváltozással is járnak [1]. A keménységvizsgálat elméletével és gyakorlatával, régóta és sokat foglalkoztak. Dolgozatunkban a keménységvizsgálat egy kevésbé kutatott területével kívánunk foglalkozni, nevezetesen a Vickers-féle keménységmérés terhelő erőtől való függésével a kisterhelésű, illetve mikrokeménység-tartományban. Megkíséreljük bemutatni, hogy milyen, az anyag szerkezetére vonatkozó megállapítások tehetők különböző terhelő erőkkel végzett félmakro- illetve mikro-vickers keménységmérésekből.

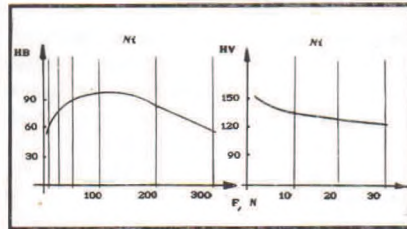
## A keménység fogalma, keménységmérő módszerek

A keménység fizikai tartalmát tekintve a műszaki gyakorlatban nem más, mint egy, a keménységmérés céljából az anyagba nyomott test behatolásával szembeni ellenállás. A keménység mérőszámát a benyomódás létesítéséhez használt erőnek (F) és a benyomódás nagyságára jellemző felületnek (A) a hányadosából kapjuk a Brinell- és a Vickers-módszer szerinti mérésnél. A más jellegű Rockwell-féle keménységmérésnél a keménység mérőszámát meghatározott nagyságú terhelő erőhöz tartozó benyomódás nagysága adja. A Brinell-módszernél (HB) *golyót*, a Vickers-féle módszernél (HV) pedig *gúla* alakú szerszámot nyomunk a felületbe. A mérőszám kiszámításához az erőt N-ban mérjük, de megszorozzuk 0,102-vel, a felületet pedig mm<sup>2</sup>-ben, így az SI-mértékegységeket használva a dimenzió nélkül megadott keménységértékek megegyeznek a régóta megszokott kp/mm<sup>2</sup> dimenziójú értékekkel.

A Rockwell-féle keménységmérés, annak alapvetően más jellege miatt, további tárgyalásunk szempontjából kisebb jelentőségű, ezért továbbiakban ezzel nem foglalkozunk.

Az alakváltozás mértéke, és ezáltal a keménység mérőszáma mind a Brinell-, mind pedig a Vickers-módszernél függ a terheléstől. A két módszert összehasonlítva elmondhatjuk azonban, hogy a Vickers-féle keménységmérés sokkal érzékenyebb a terhelés változására (1. ábra). A Vickers-féle módszerrel lehetőségünk van arra, hogy kisebb terhelésekkel is (kisterhelésű-, félmakro-, illetve mikrokeménység) mérhessünk keménységet és ez

által módunk nyílik arra, hogy tanulmányozzuk: a szerkezet finom változása miképpen hat ki a kisterhelésű-, illetve mikrokeménységre egyes ötvözeteknél.



1. ábra A Brinell és a Vickers-keménység függése a terheléstől

## Elmélet: a Vickers-féle keménység terheléstől való függése

A Vickers-keménységmérés alig érzékeny, a terhelés változására, nagyobb keménységváltozásra csak a kisebb erőtartományban számíthatunk. Meyer szerint a Vickers-keménység mérésénél az F terhelő erő és a benyomódás d átlója között az alábbi összefüggés áll fenn;

$$F = a \cdot d^n \quad (1)$$

ahol a és n, az ún. keményedési kitevő anyagra jellemző állandók.

Mint említettük, a Vickers-módszernél a szűrőszerszám gúla alakú, ezért a nyom felülete az alábbi képletel írható le:

$$A = k \cdot d^2 \quad (2)$$

ahol k a szűrőszerszám alakját jellemzi.

Mindezek figyelembevételével a keménység értékét, az alapképletbe helyettesítéssel, az F terhelő erővel is kifejezhetjük:

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{1}{k} \cdot a^n \cdot F^{\frac{n-2}{n}} \quad (3)$$

A (3) összefüggésből kiolvasható: a Vickers-keménység csak akkor független a terhelő erőtől, ha a vizsgált anyagra a keményedési kitevő n = 2, ekkor HV = a/k = állandó. Azonban az n < 2 eset az általános, mind a makro-, mind a kisterhelésű keménységek tartományában. A változás a kisebb terhelések tartományában nagyobb. A Vickers-keménység tehát – szigorúan véve – terheléstől függetlenül megadva nem jellemzi az anyag keménységét, ezért vezették be az ún. normálkeménység fogalmát [2]. A kisterhelésű, illetve mikrokeménység azonban még néhány más tényezőtől is függ, amit a következőkben foglalunk össze.

## A kisterhelésű keménység jellemzése

A kisterhelésű, illetve mikrokeménység értékét befolyásoló tényezők közül a legfontosabbak:

- a terhelő erő nagysága (a lenyomat mérete)
- a terhelés időtartama
- a vizsgált anyag szövetszerkezete
- a vizsgálókészülék jellemzői: a terhelési sebesség, a mérőoptika jellemzői (pl.: a numerikus apertúra), a gyémánt gúla alak- és mérethibája
- a mechanikai rezgések
- a próbaelőkészítés módja

Látható, hogy a keménység értékét befolyásoló tényezők közül számos a mérőműszerrel van összefüggésben, illetve a mérést végző személytől függ. Ugyanaz a személy, ugyanazzal a műszerrel statisztikus átlagban mindig ugyanakkora hibát vét, tehát ezek a tényezők nagyszámú mérés esetén kevésbé figyelemre méltóak. A próbaelőkészítés hibája szintén kiküszöbölhető. A továbbiakban tehát csupán két tényezőnek, a terhelésnek és a szövet-szerkezetnek a hatásával kell foglalkoznunk.

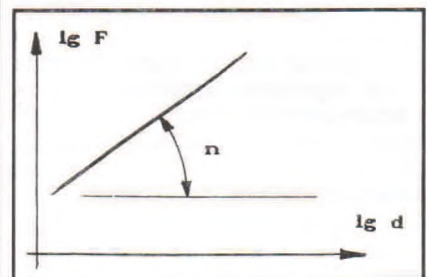
## Jelleggörbe homogén egyfázisú anyagon

Homogén egyfázisú anyagon kiváltképp a terhelés hatása jelentkezik, a szövetszerkezeti hatástól eltekinthetünk. Ugyan valójában minden típusú heterogenitás, így a kristályhatár és a zárványok is hatást gyakorolhatnak a keménység értékére, de ennek hatása a terhelés hatásához képest elhanyagolható. Ezért csupán a terhelő erő hatásával foglalkozunk.

Az (1) egyenletet kétszeres logaritmikussal koordináta-rendszerben ábrázolva, egyenest ad:

$$\lg F = \lg a + n \cdot \lg d \quad (4)$$

Ezt mutatja a 2. ábra. Bückle [2] szerint ez a hatás homogén, egyfázisú anyagon a benyomódás körüli felboltozódásnak tulajdonítható. Másrészt ugyanez úgy is megfogalmazható, hogy a leolvasott nyomatló azért nem arányos a szerszám behatolásához szük-



2. ábra A kisterhelésű Vickers-keménység terhelő erő-nyomatló függvénykapcsolata homogén, egyfázisú anyagon



séges erővel, mert a szerszám valójában rugalmas és egyúttal maradó alakváltozást is létrehoz az anyagban, de a visszatérhelés után mért nyomató valójában csak a maradó alakváltozás hatását tükrözi vissza. Erre a tényre még később is visszatérünk, amikor azt vizsgáljuk meg, hogy ugyanez a helyzet egyébként többfázisú anyagon is a nagyon kis és a nagy terhelések tartományában.

Újabb fázis hatása

Egy újabb fázis megjelenése a szövetben, legyen az akár kiválás vagy nagyobb méretű második fázis, jelentősen érezeti hatását, mivel megváltoztatja az anyag alakváltozó képességét. Ez a hatás szuperponálódik a terhelő erő okozta hatásra és ezáltal megváltoztatja a  $lg f = f(lg d)$  görbe alakját, így befolyásolja az  $n$  kitevő értékét, valamint a keménységet, mint a terhelés függvényét. Például, ha az ötvözetet hőkezelve nő a kiválások száma és ezáltal csökken a köztük lévő szabad úthossz, akkor – a mérések tanúsága szerint – azonos méretű keménységi nyom létrehozásához nagyobb terhelő erő szükséges [3].

Elméletileg a kérdést a következőképpen vizsgálhatjuk meg. Tétélezzük fel, hogy az újabb fázis eloszlása egyenletes a próbában. Feltételezve, hogy a részecskék száma nagy a vizsgált szelvényben, ahol a benyomódást létrehozzuk, joggal mondhatjuk, hogy a terhelésnek egy adott  $d$  nyomató eléréséhez tartozó megnövekedése ( $\Delta F$ ) arányos a benyomódás felületével. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy  $\Delta F$  arányos azzal az  $F_0$  terheléssel, amelyet homogén, egyfázisú anyagon mérnénk. Az  $F_1$  terhelés így a heterogén szövetre vonatkozóan

$$F_1 = F_0 + \Delta F = F_0 (1 + K) \quad (5)$$

$K$  egy olyan konstans, amely a második fázis eloszlásától és természetétől is függ. Az (5) egyenletet logaritmizálva:

$$lg F_1 = lg F_0 + lg (1 + K) \quad (6)$$

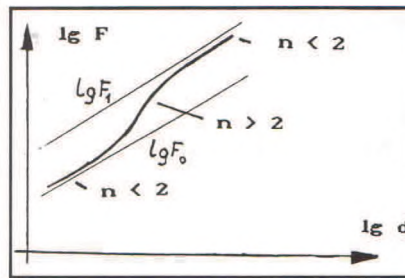
Ez azt jelenti, – ha az  $n$  keményedési kitevő nem változott, hogy  $F_0$ -t és  $F_1$ -t függő változóként tekintve  $lg F_1 = f(lg d)$  egyenes párhuzamos a  $lg F_0 = f(lg d)$  egyenessel. Közös meredekségük megfelel az alapanyag  $n$  exponensének. Minden a mátrixba épülő újabb fázisnak a hatása így jelentkezik.

Ezek a határgörbék mind a nagyon kis terheléseknél, mind pedig a nagy terheléseknél realizálódnak. Ez azért van így, mert nagyon kis terhelésnél – amikor a nyomató még jóval kisebb, mint a második fázis részecskéi között értelmezhető átlagos, közepes szabad úthossz\* – a homogén egyfázisú anyagra jellemző függvény lesz érvényes. Hasonlóan nagy terhelésnél, amikor a nyomató jóval nagyobb lesz, mint a szabad úthossz, szintén

\* Az átlagos, közepes szabad úthossz Fullmann-tól származó definíciója:  $\lambda = \frac{1-f}{N_L} V$ , ahol  $f_v$  a részecskék térfogataránya a térfogategységben,  $N_L$  pedig egy egységnyi mérővonalnak a részecskékkal alkotott metszéspontjainak számát jelenti.

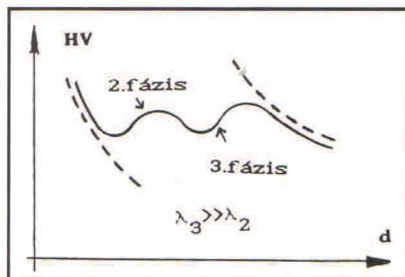
a homogén egyfázisú anyagra jellemző hatás érvényesül.

A kísérleti görbe a két határgörbéből és egy átívelő részből tevődik össze, amely összeköti a két határgörbét. Ez látható a 3. ábrán. A HV-t, mint a terhelés függvényét,



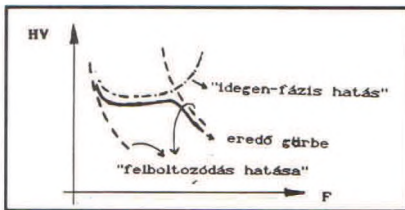
3. ábra Az alapmátrixba ágyazódott újabb fázis megváltoztatja a  $lg F(lg d)$  görbe alakját.

lineáris koordináta-rendszerben ábrázolva a határgörbék hiperbolicus görbék formájában jelentkeznek és ez érthető is, mert  $n < 2$  így viszont a (3)-ban a kitevő:  $\frac{n-2}{n} < 0$ . A kísérleti görbe komplikált és nem várt lefolyást mutat, amint ez a 4. ábrán látható: a középső részben a keménységi értékek a terheléstől, vagy ami ezzel egyenértékű a nyomatótól függően emelkednek, majd ismét csökkenhetnek és növekedhetnek attól függően, hogy hány újabb fázis fejt ki hatását. Tehát a keménységi görbén minimum és maximum is található.



4. ábra Heterogén anyagnál minden újabb fázis hatása az  $HV=f(d)$  görbén jelentkezik

Az 5. ábra kapcsán ezt megkíséreljük bizonyítani. Mint említettük, a kis és nagy terhelések tartományában a homogén, egyfázisú anyagra jellemző hatás érvényesül. Az újabb fázis hatása akkor jelentkezik, amikor a keménységmérő szerszám által létrehozott nyom átlója összemérhetővé válik a második fázis részecskéi között értelmezhető szabad



5. ábra A minimum-maximum helyek két hatás eredőjeként alakulnak ki a  $HV=f(F)$  görbén

úthosszal. Ekkor feltehetően a – deformált térfogatban is jelenlévő – második fázisrészecskék által előidézett csúszáságatás következtében a mérhető nyomató (jelöljük  $d_0$ -val) kisebb lesz, mint az a  $d$  nyomató, amit az alkalmazott terheléssel az egyfázisú anyagon kapnánk. Tegyük fel, hogy  $d_0$  és  $d$  között a kapcsolat lineáris:

$$d = d_0 + c_0 \quad (7)$$

és írható a Meyer-féle képlet szerint, hogy

$$F = a (d_0 + c_0)^n \quad (8)$$

A nyom felülete ugyanakkor:

$$A = k \cdot d_0^2 \quad (9)$$

A (8)-ből:

$$d_0 = \left(\frac{F}{a}\right)^{\frac{1}{n}} - c_0 = c_1 \cdot F^{\frac{1}{n}} - c_0 \quad (10)$$

$$c_1 < 1$$

A (10) összefüggést beírva a keménység alapképletébe, a második fázis hatását leíró HV(F) függvényre a következőt kapjuk:

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{F}{k (c_1 \cdot F^{\frac{1}{n}} - c_0)^2} = c_2 F \cdot (c_1 F^{\frac{1}{n}} - c_0)^{-2} \quad (11)$$

Keresve a függvény szélsőértékét, rendezés után kapjuk, hogy

$$\frac{dHV}{dF} = (c_1 F^{\frac{1}{n}} - c_0)^{-2} \cdot \{1 - 2(c_1 F^{\frac{1}{n}} - c_0)^{-1} \cdot \frac{c_1}{c} \cdot F^{\frac{1}{n}}\} = 0 \quad (12)$$

Mivel csak a második tényező lehet zérus, ezért a kapcsos zárójeles kifejezéssel a terhelő erő szélsőértékére, az  $F_{SZ}$ -re a (13) kifejezést kapjuk, amely, a korábban elmondottakkal összhangban, akkor értelmezhető, ha  $n > 2$ .

$$F_{sz} = \left(c_0 \cdot \frac{n}{c_1 \cdot (n-2)}\right)^n \quad (13)$$

A másodrendű derivált előjelének vizsgálatához az  $F_{SZ}$  értékénél a következő kifejezést kapjuk:

$$\frac{d^2HV}{dF^2} = -2c_2 c_1 \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{c_0 \cdot n}{n-2} - c_0\right)^{-3} \cdot \left(\frac{c_0 \cdot n}{c_1(n-2)}\right)^{(1-n)} \cdot \left\{\frac{1}{n} - \frac{1}{2}\right\} \quad (14)$$

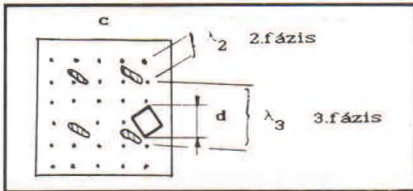
Miután  $\left\{\frac{1}{n} - \frac{1}{2}\right\} < 0$ , ezért  $\frac{d^2HV}{dF^2} > 0$ , tehát az  $F_{SZ}$  helyen a (11) HV(F) függvénynek minimuma van. Ezt követően a függvény növekszik és ez mindaddig érvényben marad, amíg a terhelés növekedése folytán a nyomató is már jóval nagyobb lesz, mint az átlagos szabad úthossz. Ezt követően ismét a csökkenő jelleggel fut a görbe, (5. ábra). Amikor a nyomató, egy újabb fázisra jellemző szabad úthosszal válik összemérhetővé, az előbb tárgyalt folyamat megismétlődik.



**Matematikai modell**

Olyan matematikai modellt kíséreltünk meg felállítani, amely az eddigi eredményeket felhasználva megkísérlí leírni a kisterhelésű Vicers-keménység, a terhelő erő és a szövetszerkezet heterogenitásának mértéke közötti kapcsolatot.

Az egyszerűség kedvéért vizsgálódásainkat az anyagnak egy  $c$  élhosszúságú kockával jellemzett részében végezzük. Erre csupán a tárgyalásmód leegyszerűsítése céljából van szükség. Miután a méréseket mikroszkópi csiszolaton végezzük, így az adott térfogatnak egy  $c$  oldalhosszúságú négyzet alakú részét vegyük szemügyre a továbbiakban. A  $c$ -nek kettős értelme van, hiszen egyúttal a vizsgált területrészen értelmezhető a legnagyobb keménységi nyom átlója is, amely feltehetően már akkora terheléshez tartozik, amelynél nagyobb terhelés esetén a keménység már a homogén, egyfázisú anyagra jellemző módon változik, tehát a  $c$ -nek fizikai tartalma is van. Tételezzük fel továbbá, hogy a második, harmadik és az azt követő újabb fázisokra jellemző átlagos, közepes szabad úthosszak és maguknak a fázisoknak a mérete is különböző (6. ábra). A terhelés változását a keménységi nyom átlójának változása ( $d$ ) jellemzi. Az átlagos, közepes szabad úthosszakat jelöljük



6. ábra Magyarázó ábra a matematikai modellhez

rendre  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ -nel. A keménység egy többváltozós függvényként kezelhető, ahol a független változók a nyomátó, ill. a részecskék közötti távolság:

$$HV = f(d, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_n) \quad (15)$$

Teljesíteni kell az alábbi feltételeket, mint fizikai korlátokat:

1. Ha nagyon kevés mennyiségű idegen fázis van az alapmátrixban a vizsgált területen. Ez azt jelenti, hogy bármely vizsgált  $c$  élhosszúságú térfogatban, bármelyik fázisra fennáll:

$$\lambda_i = c, \text{ vagyis } \frac{\lambda_i}{c} = 1; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Ebben az esetben egy, az alapmátrix keménységére jellemző keménység adódik:

$$HV = HV_M, \text{ ha } \frac{\lambda_i}{c} = 1 \quad (16)$$

2. Ha a vizsgált térfogatban nagyon nagy mennyiségű második, harmadik vagy  $n$ -edik fázis részecske van, azaz  $\lambda_i \ll c$ . Ekkor határesetként rendre meg kell kapjuk az egyes fázisok keménységét; az  $i$ -edik fázis  $HV_i$  keménysége:

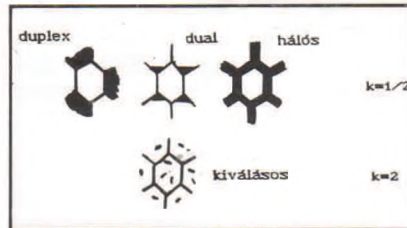
$$HV = HV_i, \text{ ha } \frac{\lambda_i}{c} = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

Mindkét esetben a keménységnek a homogén, egyfázisú anyagra érvényes módon kell változni.

Az elmondottak figyelembevételével a HV keménységet egy függvénypolinommal közelítve írjuk le:

$$HV = [1 + b_1 \frac{d}{c} (1 - \frac{d}{c}) \cdot (\frac{d}{c} - b_2 \frac{\lambda_2}{c}) \dots (\frac{d}{c} - b_n \frac{\lambda_n}{c}) \frac{\lambda_2}{c} \frac{\lambda_3}{c} \dots \frac{\lambda_n}{c} (1 - \frac{\lambda_2}{c}) \dots (1 - \frac{\lambda_3}{c}) \dots (1 - \frac{\lambda_n}{c}) - b_0 \cdot \sqrt{\frac{d}{c}}] \cdot [(\frac{\lambda_1}{c})^k \cdot HV_M + (1 - \frac{\lambda_2}{c})^k \cdot HV_2 + \dots + (1 - \frac{\lambda_n}{c})^k \cdot HV_n] \quad (18)$$

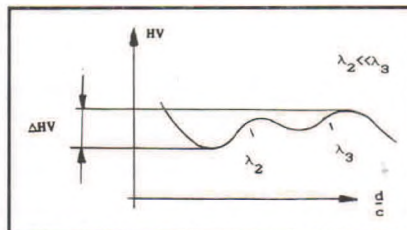
A  $b_0, b_1, b_2, b_n$  anyagtól függő állandók. A négyzetgyökös közelítés a keménységi nyom körüli – a már említett – felbontódás hatását veszi figyelembe. Vizsgálataink szerint ez a közelítés felel meg legjobban a gyakorlatnak. A  $k$  értéke az ötvözet típusát veszi figyelembe, és értéke 2 vagy 1/2 (7. ábra). Ha kettőnél több fázis van, ezek hatását együtt kell értékelni.



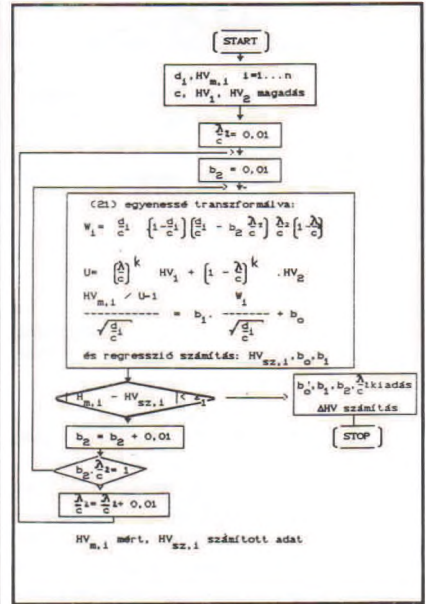
7. ábra A  $k$  érték megválasztása a (18) egyenlethez az alapmátrix és a fázis alkotta szövetszerkezet alapján

Az összefüggés kellő mennyiségű adat birtokában személyi számítógép felhasználásával alkalmas arra, hogy az  $\lambda$  értékeket meghatározzuk.

Fontos azonban kiemelni – amit a mérések és a számítógépes szimulációs vizsgálatok is igazoltak –, hogy a szövetség már csekély mértékű változására, ami az  $\lambda$  értékek változásában nyilvánulhat meg, a  $\delta$  ábrán bejelölt  $\Delta HV$  érték érzékenyen reagál. A (18) egyenlet személyi számítógép felhasználásával oldható meg. A program kétfázisú ötvözetre vonatkozó folyamatábrája látható a 9. ábrán.



8. ábra A modell alapján számítható paraméterek



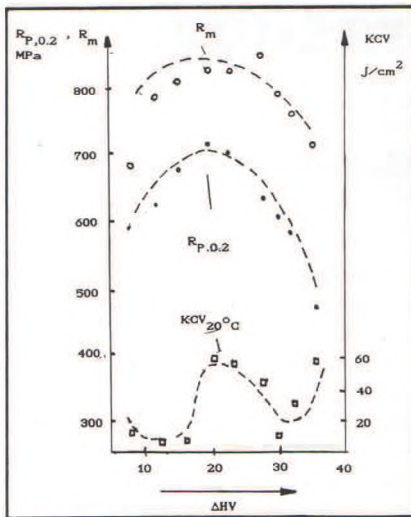
9. ábra A kétfázisú modellre vonatkozó számítógépi algoritmus

**Alkalmazások**

Módszerünk egy korábbi, leegyszerűsített változatának alkalmazását ismertettük a BKL Kohászat hasábjain [4]. Itt egy olyan példát mutatunk be, ahol a módszer ipari alkalmazhatóságára is rá tudunk világítani.

Kísérleteinket egy általunk kifejlesztett, Mn-V ötvözesű dual-fázisú acél különböző adagjain végeztük el. Az acélokat a Dunai Vasműben különböző technológiai paraméterek mellett gyártották. Az acéltípusra jellemző, hogy a dual-fázisú ferrit-martensites szerkezete, mint tulajdonságmeghatározó struktúrára vanádium-karbidos kiválásos keményedés is szuperonáldíok. Attól függően, hogy  $e$  két hatás hogyan összegződik, alakulnak az acél egyes mechanikai tulajdonságai. Elérhető egy optimum, amikor a dual-fázisú szerkezetre jellemző átlagos, szabad úthossz és a kiválások száma és morfológiája egyöntetűen a szilárdsági és szívóssági tulajdonságok szempontjából is a legkedvezőbb állapotot képviseli. Egy-egy adott technológiai paraméterrel gyártott próbákön 10-15 keménységmérését végeztünk 5 különböző terhelő erővel. A kapott görbéket kiértékeltek. A 10. ábrán bemutatott példából látszik, hogy a  $\Delta HV$  egy adott értékéhez tartozik az az optimális technológia, ahol a szilárdsági és szívóssági tulajdonságok egyaránt kedvező értékeket adnak. Minden egyes összetartozó folyáshatár ( $R_{p0.2}$ ), szakítószilárdság ( $R_m$ ) és ütőmunka (KCV) adathoz hozzárendelhető próbák különböző technológiai paraméterekkel készültek. A technológia optimálisnak mondható, ha a kapott  $\Delta HV$  érték  $20 \pm 5$  körül alakul. Ettől lényegesen kisebb  $\Delta HV$  érték esetén alacsony szilárdsági értékekre számíthatunk. Az optimális értéknél nagyobb  $\Delta HV$  érték esetén viszont





10. ábra Alkalmazási példa: a  $\Delta HV$  érték és a mechanikai tulajdonságok összefüggése egy meleghengertéssel előállított dual-fázisú acélon

$\Delta HV$  érték  $20 \pm 5$  körül alakul. Ettől lényegesen kisebb  $\Delta HV$  érték esetén alacsony szilárdsági értékekre számíthatunk. Az optimális értékeknél nagyobb  $\Delta HV$  érték esetén viszont rosszabb az ütőmunka.

Az optimális technológia (pl. hengertési véghőmérséklet) beállításához a mechanikai tulajdonságok változására nagyon érzékenyen reagáló mérés számítógépes kiértékelésével kapott adatok is hozzájárulhatnak. Az optimális technológia felkeresését a leírt egyszerű és érzékeny módszerrel segíthetjük elő. A bemutatott gyakorlati példa eredményei is az elmondottakat igazolták.

### Összefoglalás

Dolgozatunkban egy olyan vizsgálati módszert mutattunk be, amely a Vickers-keménység terhelő erőtől való függésén alapul a

kisterhelésű keménység-tartományban. A módszer alkalmas arra, hogy a két- és többfázisú ötvözeteknél a szövetszerkezetben bekövetkező nagyon finom változásokat viszonylag egyszerűen nyomon kövessük. Bizonyos esetekben az optimális technológia behatárolása e módszer segítségével lényegesen megkönnyíthető, illetve ellenőrizhető.

### Irodalom

- [1] Tóth, L.: Fémalakítás. Tankönyvkiadó. Bp. 1980.
- [2] Káldor, M. - Bárczy, P.: BKL Kohászat, 1967. 8. 349-351. o.
- [3] Brückle, H.: Mikrohartprüfung und ihre Anwendung. Berliner Union. Stuttgart, 1965
- [4] Vorsatz, B.: BKL Kohászat, 1988. 4. 161-170. o.

923 076, 062-063

# SHIMADZU

- » anyagvizsgálógépek
- » szakítógép
- » keménységmérő
- » spektrofotométerek és
- » kromatográfok



**BUEHLER**

## BUEHLER-MET

- » fénymikroszkóp
- » mintaelőkészítési rendszer

Magyarországi képviselőte:  
**SIMKON Kft.**

1032 Budapest, Gyenes u. 5.

Tel.: 1887 842, 1884 450 • Fax: 1884 450



# Keménységmérés és mérésügy

Kovács Gábor\*

## Törvény a mérésügyről

A mérésügy alapvető feladata a mérések egységességének és pontosságának biztosítása. Ezt a feladatot a jog eszközeinek felhasználásával, államigazgatási tevékenységként látja el.

A mérésügyet a világon általában törvények szabályozzák. Magyarországon is már 1405-ben Zsigmond király adott ki először dekrétumot, királyi rendeletet a mérések egységességének érdekében. Ezt a történelem folyamán több törvényerejű szabályozás, törvényrendelet követte. Legutoljára 1905-ben az V. törvény adott a maga idejében még nemzetközi mércével mérve is igen korszerű, közel fél évszázadig érvényben lévő jogszabályi háttérrel a magyar mérésügy működésének.

Az elmúlt 40 évben a mérésügy törvényi szintű szabályozását kormányrendeleti szintre degradálták. A rendszerváltozás után a hatályos kormányrendeletek felülvizsgálata (dereguláció) során a kormány a parlamenttel egyetértésben úgy határozott, hogy a mérésügy szabályozását a megváltozott társadalmi, bel- és külgazdasági viszonyokra való tekintettel is ismét törvényi szintre kell emelni.

Az Országos Mérésügyi Hivatal (OMH) közel egy éves munkával az új mérésügyi törvényjavaslatot, valamint az annak végrehajtását szabályozó kormányrendelet javaslatát elkészítette. Az országgyűlés 1991. szeptember 2-án a törvényjavaslatot elfogadta, így 1992. január 1-től az 1991. évi XLV. törvény szabályozza a magyar mérésügyet. A törvény végrehajtásáról pedig a 127/1991. (X.9.) kormányrendelet intézkedik.

## Törvény és keménységmérés

A törvény végrehajtását szabályozó kormányrendelet melléklete tartalmazza a kötelező hitelesítésű mérőeszközök jegyzékét. Ezen jegyzék 18. pontja a mechanikai anyagvizsgáló eszközökre vonatkozik és a szakító-, nyomó-, hajlító-, nyíró-, törőgépek, fonal- és kvadránsmérlegek, motollák, sodratszámlálók, ingás ütőgépek mellett tartalmazza a keménységmérőgépeket, valamint a HRC és HV keménységi behatolótesteket is.

A keménységmérőgépek már viszonylag régen, közel 40 éve kerültek be a kötelező hitelesítésű mérőeszközök közé, miután az országos keménységi skálát az etalon keménységmérőgépek beszerzésével és üzembeállításával létrehoztuk. A keménységi behatolótestek hitelesítését csak később (1973) rendeltük el a nagyobb darabszámban vizsgált, új és használt behatolótesteknél szerzett nagyon kedvezőtlen tapasztalatok miatt. (Az ipar-

ban használt behatolótestek közül a hitelesítéséknél derült ki sok esetben, hogy törtek, de az új Rockwell gyémántok közül is igen sok nem teljesítette a korrekcióra megengedett  $\pm 1$  HRC tűréshatárt.) Tehát a keménységmérőgépek Magyarországon kötelező hitelesítésű mérőeszközök. Ez azt jelenti, hogy keménységmérőgépen mérni, keménységi értékeket meghatározni, de a keménységmérőgépet üzemkész állapotban tartani is csak hitelesített állapotban szabad. Új típusú, vagy Magyarországon még nem forgalmazott típusú, importált gép esetében a hitelesíthetőségről típusvizsgálatnak kell döntenie. Pozitív eredményű típusvizsgálat esetén a hitelesítést engedélyező államigazgatási határozat kiadására kerül sor (hitelesítési engedély).

A törvény, illetve a végrehajtási utasítás más paragrafusa írja elő, hogy azokat a mérőeszközöket, amelyek alkalmasak a mennyiség egységének és/vagy helyes értékeinek előállítására és más mérőeszközre való továbbszármaztatására, használati etalonnak tekintjük és hívjuk. A használati etalonoknak pedig érvényes hitelesítéssel kell rendelkezniük. A keménységmérés területén a keménységösszehasonlító lapok a használati etalonok, mivel azokkal más mérőeszközök – a ke-

ménységmérőgépek – pontossága ellenőrizhető.

## A törvényes keménységmérés kiterjedése

Mire vonatkoznak a törvényes metrológia jogszabályai a keménységmérés területén? Minden fajta és minden formájú keménységmérésre? Nem. Az OMH jelenleg csak a statikus fémpari keménységméréssel foglalkozik. Tehát nem foglalkozunk különböző dinamikus, kézi keménységmérők (pl. Poldi kaplacs), vagy gumi (Shore), beton stb. keménységét meghatározó eszközök hitelesítésével. De csak tájékoztató jelleggel tudunk jelenleg vizsgálatokat végezni Vickers szerinti mikrokeménységmérőkkel is. Ennek alapvető oka elsősorban az, hogy ezeknek az eljárásoknak ma még nem létezik metrológiai igényeket kielégítő, a mérésügyi hivatalok által nemzetközileg összehasonlított keménységi skálájuk. Ha ilyen eszközök vizsgálatával kapcsolatos igénnyel fordulnak hozzánk, akkor ún. minősítő vizsgálat során a gyártó által megadott specifikáció ellenőrzését, valamilyen

Vizsgálati tartomány	Mérési bizonytalanság	A mérési bizonytalanság megadásának módja
Rockwell keménységmérés		
(20 + 70) HRC	$\pm (0,1 + 0,2)$ HRC	k = 2
(60 + 90) HRA	$\pm (0,2 + 0,3)$ HRA	k = 2
(10 + 100) HRB	$\pm (0,3 + 0,5)$ HRB	k = 2
Vickers keménységmérés HV1 +HV100 (kis és normál terhelés)		
(200 +900) HV	$\pm (3 + 8)$ HV	k = 2
Brinell keménységmérés HB10/3000+HB1/30 (összes terhelés)		
(50 + 500) HB	$\pm (3 + 7)$ HB	k = 2
Keménységösszehasonlító lapok minősítése		
(20 + 70) HRC	1,5 %	A lap megengedett szóródásterjedelme a mélységnövekedés százalékában
(60 + 90) HRA	3 %	
(10 + 100) HRB	3 %	
(200 +900) HV	(1 + 1,5) %	A lap megengedett szóródásterjedelme a lenyomat méret százalékában
(50 + 500) HB	(1 + 2) %	
Keménységi behatolótestek vizsgálata		
Geometriai alakhűség ellenőrzése		
Rockwell: 120°30'	$\pm 5'$	
R 0,2	$\pm 0,01$ mm	
Vickers: 148°6' $\pm 20'$	$\pm 5'$	
Működési vizsgálat		
Rockwell: $\pm 1$ HRC	(0,2 + 0,4) HRC	
Vickers: $\pm 2$ %	(2 + 10) HV	

\* Országos Mérésügyi Hivatal



nemzetközileg elfogadott és országos skálával rendelkező keménységmérési eljárás értékeihez való összehasonlítását tudjuk elvállalni.

Sajnos jelenleg nem rendelkezünk etalon keménységmérőgéppel a felületi (Super) Rockwell keménységmérési eljárás területén sem, így ezen gépek teljes körű hitelesítését sem tudjuk ellátni. (Az ilyen gépeket csak a terhelést előállító erőre tudjuk ellenőrizni.)

Az OMH jelenleg a táblázatban között szolgáltatásokat nyújtja a keménységmérések területén.

### A mérésűgy hatása

A törvényes metrológia hatása a keménységmérések területén, hasonlóan más mérés-területekhez, a gazdaságban nem közvetlenül, hanem áttételesen jelentkezik. Magasszintű gépipari gyártástechnológia, minőségi áruter-

melés elképzelhetetlen korszerű anyagvizsgálat nélkül. Korszerű anyagvizsgálat mérések, a mérések tanúsítását hitelessé tévő mérésűgyi háttér nélkül szintén nem létezik. Márpedig a világszínvonalhoz közeledés minőségi árutertermelés nélkül nem megy. Tehát az anyagvizsgálat, benne a keménységmérés korszerűsítése, magas szinten tartása egy rendkívül fontos nemzetgazdasági tevékenység.

923 080 061

# Keménységösszehasonlító lapok és behatolótestek

Ifj. Petik Ferenc\*

## Bevezetés

A keménység az anyagok tulajdonsága. A keménységi skála folytonos, de a folytonos értékek előállítása már nem olyan egyszerű feladat, mint például a hosszúság, tömeg vagy hőmérséklet esetében. A keménységi értékek nem additívek. Például 28 HRC + 32 HRC nem egyenlő 60 HRC-vel. Egy adott anyag keménysége az alkalmazott gyártási technológia függvénye. Nem tudunk tetszés szerinti keménységű anyagot előállítani. A metrológia csak a kialakult keménység meghatározására vállalkozhat. A keménység mérőszáma egy megállapodáson alapuló kísérlet eredménye.

A mérési folyamat két lépésből áll:

- előírt körülmények között lefolytatott kísérlet,
- a kísérlet közben vagy után a lenyomat jellemző méretének megállapítása.

Természetesen nagyon sokféle módon lehet jól elvégezni a kísérletet, kezdve a terhelés nagyságától, a behatolótest alakjától. A mérési eredmény azonban csak akkor használható, ha azt az egész világon egyformán értelmezik. Ez tette szükségessé a keménységmérés egységesítését. Ennek során kialakultak a mindenhol elfogadott, szabványosított módszerek. Az egységesítést nagyban hátráltatja azonban, hogy a keménységnek nincsen nemzetközi etalonja, mint például a tömegnek. A tömeg esetében ugyanis viszonylag egyszerű a helyzet. Az egyes országok etalon súlyait összehasonlítják a Sevres-ben őrzött nemzetközi etalonnal és így a tömegmérés egységessége az összehasonlító mérés pontosságának szintjén biztosítható az egyes országok között. A keménységmérés esetében legfeljebb nemzeti, egy adott országra vonatkozó etalonról beszélhetünk. Az etalon egy speciális keménységmérőgép a hozzátartozó behatolótesttel vagy behatolótest csoporttal, amelyet úgy készítenek el, hogy az minél jobban megfeleljen

a szabványban előírt követelményeknek. Ezek a gépek mégis igen sok tekintetben különböznek egymástól és ez természetesen az egyes országok keménységi skáláinak eltéréseit is okozza. Ezen jelenleg nemzetközi etalon hiányában széles körű részvétellel szervezett nemzetközi összehasonlító mérések segítenek.

Főként a kérdés, hogy egyáltalán milyen módon lehet összehasonlítani két keménységmérő gépet. Csak közvetett módon, egy alkalmas „átvívó elem” segítségével. Ez az ún. keménységösszehasonlító lap. Ha két gépet össze akarunk hasonlítani, akkor mindkét gépen megmérjük a keménységösszehasonlító lap keménységét és a kapott eredményekből kapunk információt a két gép közötti különbségről. A mérés helyi roncsolást okoz a lapon, így a lap egy adott pontján csak egyszer lehet mérni. Ebből következik, hogy a lap inhomogenitása hibát visz az összehasonlító mérésbe.

A mérésben legközvetlenebbül a behatolótest vesz részt. A gúla- illetve kúp alakú gyémánt behatolótestek gyártása igen nehéz feladat, az ideális geometria elérése szinte lehetetlen. A behatolótest alakja nagy mértékben befolyásolja a mérési eredményt.

Belátható tehát, hogy az egységes keménységmérés érdekében elengedhetetlenül szükséges a keménységösszehasonlító lapok és behatolótestek alapos vizsgálata.

## Keménységösszehasonlító lapok

Mind az etalon, mind pedig az ipari keménységmérőgépek helyezzük őket, így az összehasonlításukhoz szükség van egy „átvívó elemre”, amely kapcsolatot teremt a magasabbrendű és az alacsonyabbrendű mérőeszköz között. A keménységösszehasonlító lappal szemben támasztott legfontosabb követelmények:

- egyenletes keménység a felület mentén a megfelelő mélységig,
- időben állandó keménység,

– egyéb tulajdonságok, amelyek lehetővé teszik a keménységnek megfelelő bizonytalansággal történő meghatározását.

### A keménység egyenletessége

A keménységösszehasonlító lap keménysége a lap felületén egyenletesen elhelyezkedő öt lenyomat számtani középértéke. A keménység egyenletességének meghatározására az R relatív szóródásterjedelem százalékos értékét használjuk, melyet a következőképpen kell kiszámítani:

a/ *Rockwell mérés*

Legyen  $e_1, e_2, \dots, e_5$  növekvő sorrendben a benyomódási mélység növekedése speciális hosszegységben. Legyen  $e$  ezeknek az átlaga. Így:

$$R = [(e_5 - e_1)/e] \cdot 100 \%$$

b/ *Vickers és Brinell mérés*

Legyen  $d_1, d_2, \dots, d_5$  az egyes lenyomatokon mért átlók, illetve átmérők átlaga növekvő sorrendben. Legyen  $d$  ezeknek az átlaga. Így:

$$R = [(d_5 - d_1)/d] \cdot 100 \%$$

A szóródásterjedelem R megengedett értékeit a szabványok tartalmazzák.

Egy lap hitelesítése során a felszín öt pontján határozzák meg a keménységet. Ha a lapot megfelelő módon gyártották, akkor ez az öt pont jól reprezentálja a teljes felszínt. Rossz hőkezelés, forgácsolás vagy anyaghibák miatt azonban nagy eltérések lehetnek az egyes pontok között. A bizonytalanság elvileg csökkenthető lenne a mért pontok számának növelésével, ez azonban nagyban megnövelné a hitelesítés költségeit, a lap értéke pedig csökkenne, hiszen csökkenne a használható felületének nagysága. A megoldás az lehet, ha a gyártó és a hitelesítést végző szerv között együttműködés alakul ki a különböző hibák feltárására és megszüntetésére.

\* Országos Mérésügyi Hivatal



## A keménység időbeni stabilitása

Néhány nemzetközi dokumentum és a magyar szabvány is követelményeket fogalmaz meg a keménység időbeni stabilitásával kapcsolatban. Ezeknek az előírásoknak az alkalmazhatósága azonban már kérdéses. Hogyan ellenőrizhető a stabilitás egy kétéves periódus során? A legtöbb lapot ennyi idő alatt teljesen elhasználják. A gyakorlatban ezért a lapot megfelelőnek minősítik az első hitelesítésnél, amennyiben a többi követelményt kielégíti. A stabilitást legfeljebb egy, a gyártási sorozatból kiemelt mintapéldányon lehet vizsgálni. Ha ezen két év elteltével számottevő változást észlelnek, akkor a gyártási technológiában változást kell végrehajtani.

A keménységváltozásnak több oka is lehet. Az egyik, hogy az anyagszerkezet az idő múlásával megváltozhat, akkor is, ha a lap nincs használatban. Egy másik ok lehet, hogy a használat során a mechanikai behatások miatt felkeményedik a lap. Ez utóbbival kapcsolatban sokan végeztek kutatásokat. Az eredmények azt mutatták, hogy a lapok felkeményedése közelítőleg egyenes arányban áll a rajta elhelyezett lenyomatok számával. Ez azt jelenti, hogy a lenyomatokat nem lehet tetszés szerinti sűrűségben elhelyezni a lapokon. Lágyabb lapokon ritkábban, keményebb lapokon sűrűbben lehet lenyomatokat készíteni. Ebben a kérdésben is a szabványok az irányadók.

## Anyag

A szabványok a keménységösszehasonlító lapok anyagával kapcsolatban csak általános követelményeket fogalmaznak meg. „A keménységösszehasonlító lapokat homogén szerkezetű, maradó mágnesesség nélküli és az öregedéssel szemben ellenálló acélból kell készíteni.” A lapok többsége egyszerű szénacélból vagy enyhén ötvözött acélból készül. Ajánlatos ugyanazt az acélt használni minden keménységi szinten és a kívánatos keménységet a hőkezelés variálásával beállítani.

## Hitelesítés

A keménységösszehasonlító lapok mérési szempontból használati etalonnak minősülnek, így hitelesítésük kötelező. Ez a Rockwell, a Vickers és a Brinell lapokra egyaránt vonatkozik. A hitelesítést az Országos Mérésügyi Hivatal Erő- és Keménységmérések Laboratóriuma végzi Budapesten. A vizsgálat kiterjed a geometriai méretek, a felületi minőség és a keménység egyenletességének ellenőrzésére, valamint a lap keménységének meghatározására. A két utóbbit az ún. funkcióvizsgálattal határozzák meg. Ez úgy történik, hogy a vizsgálandó lap keménységét az OMH közvetlen súlyterhelésű etalon keménységmérőgépen öt ponton megméri. Az 1. ábrán az OMH egyik etalon HRC keménységmérőgépe látható. Az öt eredmény átlaga adja a lap hiteles keménységi értékét. A szóródásterjedelmet (R) már ismertetett módon számítják ki. A hitelesítésről az OMH



1. ábra Az OMH etalon HRC keménységmérőgépe

bizonyítványt állít ki, melynek érvénye két év. A tapasztalat sajnos azt mutatja, hogy a felhasználók csak nagyon ritkán hitelesítetik a keménységösszehasonlító lapokat. Sok cég külföldről szerzi be a lapjait. Legtöbb esetben a gyártó feltünteti a lapon az általa mért keménységet, azonban, mint azt már említettem, két ország keménységi skálája között számottevő eltérés lehet.

Ezen kívül a lap keménysége időben is változik. A legelső mérés és a lap felhasználása között 5-10 év is eltelhet, és ennyi idő alatt bizonyosan változik a keménység. Így fordulhat elő az, hogy egy keménységmérőgép nem hiteles keménységösszehasonlító lappal ellenőrizve jönnek ki, míg a gép hitelesítése során, amikor hiteles lapot használnak, rossznak bizonyul. Ezért a keménységmérőgépeknek keménységösszehasonlító lappal történő ellenőrzésének csak akkor van értelme, ha a lap érvényes hitelesítési bizonyítvánnyal rendelkezik.

## Behatolótestek

A mérési eredményeket a gép oldaláról legközvetlenebbül a behatolótest befolyásolja. A különböző mérési elvek különböző formájú behatolótesteket igényelnek. Ezt az indokolja, hogy nagyon elértő keménységű anyagokat kell vizsgálni és ez lehetetlen lenne egyetlen módszerrel.

## Gyémánt kúp

A Rockwell A, C és N keménységmérés módszerhez egyenes kúp behatolótestet használnak, melynek lekerekített csúcsa van. A kúpszög 120°. A lekerekítési sugár 0,2000 mm. A gyémánt felületének tükrösnek kell lennie olyan hosszon, hogy 0,3 mm mély behatolás esetén az anyaggal csak a polírozott rész érintkezessen. A gyémántot szilárdan kell rögzíteni a foglalatban, úgy, hogy a kúp és a foglalat tengelye párhuzamos legyen.

## Gyémánt gúla

A Vickers módszerrel alkalmazott behatolótest egy négyzetalapú gyémánt gúla, melynek két átellenes éle által bezárt szöge 148°6'. A csúcsonál a lapok találkozásánál kialakuló él nem lehet hosszabb, mint 0,002 mm. Az egyéb követelmények megegyeznek a Rockwell behatolótestekre vonatkozó követelményekkel.

## Golyós behatolótest

A Brinell, illetve a Rockwell B és T behatolóteste acél vagy keménységű golyó, amely a foglalatban elforgatható, cserélhető. Ezért egy adott golyós behatolótestet nem áll módunkban vizsgálat után bizonylatolni (pl. azonosítási száma sincs). Csak az alkalmazott golyók statisztikai minősítésére van mód. A golyó felületének tükrösnek kell lennie. A foglalat olyan, hogy a golyót cserélni nem lehet. A golyó átmérője a mérendő próbadarab keménységétől és az alkalmazott terheléstől függ.

## Hitelesítés

Egy keménységmérőgép típusvizsgálatát vagy hitelesítését csak akkor lehet elvégezni, ha a gép rendelkezik hiteles behatolótesttel. Hitelesíteni csak a gyémánt behatolótesteket kell, a golyókat nem. A hitelesítés során a behatolótestek legfontosabb paramétereit vizsgáljuk: a foglalat csapjának átmérőjét, a kúp, illetve a gúla szögét, a gyémánt felületének minőségét. Ezen kívül természetesen funkcióvizsgálatot is végzünk. Ez úgy történik, hogy az OMH etalon keménységmérőgépen etalon behatolótesttel megmérjük egy keménységösszehasonlító lap keménységét, majd ugyanezt a lapot az etalon keménységmérőgépen megmérjük a vizsgálandó behatolótesttel is. A két mérési eredményből megkapjuk a behatolótest korrekcióját. A korrekciót a behatolótest használata során a mérési eredményhez előjelhelyesen mindig hozzá kell adni. A korrekció megengedett legnagyobb értéke Rockwell C esetén  $\pm 1$  HRC, Vickers esetén  $\pm 2\%$ , a mért értékre vonatkozóan. Ennél nagyobb korrekció esetén a behatolótest nem megfelelő, mértékadó mérésekre nem használható. Gyakori hiba, hogy a gyémánt törött. Ajánlatos lenne, ha a felhasználók néha nagyító vagy mikroszkóp alatt megvizsgálnák a gyémánt felületét, hogy nincs-e rajta sérülés. Ezzel rengeteg hibás mérést és egy felesleges hitelesítést takaríthatnak meg.

## Irodalom

Hardness test blocks and indenters, OIML, Paris 1984

923 081 002



# Keménységmérőgépek típusvizsgálata és hitelesítése

Tóth Mihály\*

A helyhez kötött (stabil, statikus működésű) fémipari keménységmérőgépek a kötelező hitelesítésű mérőeszközök csoportjába tartoznak. E mérőeszközök típusvizsgálatáról és hitelesítéséről az 1991. évi XLV. törvény IV. fejezete rendelkezik. (A hitelesítési kötelezettség a hordozható és dinamikus működésű keménységmérő eszközökre nem vonatkozik.)

Hitelesíteni csak olyan mérőeszköz lehet és szabad, amely korábban hitelesítési engedélyt nyert. A hitelesítési engedélyt sikeres típusvizsgálat eredményeként kapja meg a mérőeszköz, ennek alapján az időszakos hitelesítések rendszeresen elvégezhetők.

A mérőeszközök típusvizsgálatát az Országos Mérésügyi Hivatal (továbbiakban: OMH) szaklaboratóriumai, hitelesítését az OMH Hitelesítési Főosztálya, illetve az OMH területi szervei végzik.

## I. Típusvizsgálat

### Közérdekű tudnivalók

A fémipari keménységmérőgépek típusvizsgálatát az OMH Mechanikai Alapmérések Osztálya, Erő- és Keménységmérések Laboratóriuma végzi.

A típusvizsgálatot a keménységmérőgépgyártója, vagy belföldi forgalmazója, illetve a keménységmérőgép első belföldi használója köteles kérelmezni és a vizsgálat költségeit viselni.

A típusvizsgálati kérelemnek tartalmaznia kell a keménységmérőgépgyártmányát, típusát, az előállítható terheléseket, az alkalmazható mérési módokat, a lényegesebb tartozékokat, valamint a gép felállítási helyét. Mellékelni kell a keménységmérőgép eredeti gépkönyvének és magyar nyelvű fordításának másolatát, valamint fekete-fehér fényképfelvételt (3 db 9x12, 9x14 cm nyomdai célokra), mely a gépet a lehető legjellemzőbb beállításban mutatja be.

A típusvizsgálatot – előzetes időpontegyeztetéssel – a gyártó, a forgalmazó, a felhasználó telephelyén, vagy a gép beszállítása esetén az OMH szaklaboratóriumában is elvégezzük.

Tévedések elkerülése végett:

- az Országos Mérésügyi Hivatal a gépek üzembehelyezésével, vagy javításával nem foglalkozik, nem foglalkozhat, mert ez jogilag összeférhetetlen, csak típusvizsgálat és hitelesít;
- A javítószerv (márkaszervíz stb.) nem hitelesíthet, mert ez hatósági tevékenység, csak üzembeállítás, javítást, pontosítást végez.

A keménységmérőgép hiteles mérésekre csak az OMH típusvizsgálat, illetve hitelesítés után használható!

A géphez tartozó HV, HRC keménységmérő behatolótesteket a típusvizsgálat során, de a gép érdemi vizsgálatának megkezdése előtt hitelesíteni kell. Ez kérelmezhető külön megrendeléssel, vagy a típusvizsgálati kérelemmel együtt is beküldhető a behatolótestek az OMH-ba.

Kívánságra – külön megrendeléssel – a géphez szállított keménységösszehasonlító lapokat is bemérjük.

A típusvizsgálat során az OMH ellenőrzi, hogy a bemutatott keménységmérőgép megfelel-e a hazai szabványoknak és mérésügyi előírásoknak, átnézzük a gép dokumentációját, szerkezeti vizsgálatot, terhelőerő-mérést és funkcióvizsgálatot végzünk.

A szerkezeti vizsgálat során ellenőrizzük a gép vízszintbe állítását, az adattáblát, a tárgyasztal-orsó illesztését, a tárgyasztalok csapjának illesztését, az olajfék működését, a nyomótüske furatát stb., valamint azt, hogy a gép asztalának (állványának) lapját kifúrták-e a tárgyasztal-orsó mozgásának biztosítása céljából.

A terhelő erő mérését erőmérő műszerekkel végezzük. Az ellenőrizzük, hogy a gép által leadott terhelő erő százalékos hibája a hitelesítési szabályzatban előírt hibahatáron belül van-e. A funkcióvizsgálat során – különféle keménységi szinten – hiteles keménységösszehasonlító lapokat mérünk meg a géppel azt vizsgálva, hogy a gép mérési pontossága a megengedett határon belül van-e.

Ha valamilyen hibát találunk és az rövid úton megszüntethető, lehetőséget adunk a közreműködő javítószervnek (a kérelmező egyéb megbízottjának), hogy a gépet megjavítsa és tovább folytatjuk a vizsgálatot az eredményes befejezésig.

Ha a javítás hosszadalmas lenne, a vizsgálatot felbszakítjuk. A javítás után azonban elég egy telefon értesítés, időpontegyeztetés és folytatjuk a vizsgálatot.

Maga a típusvizsgálat – ha a végleges felállítási helyen történik –, első hitelesítésnek számít, melynek érvénye a vizsgálat befejezésétől számított egy év.

A vizsgálat eredményes befejeztével a gép hiteles mérésekre használható.

Az eredményes típusvizsgálatról a kérelmező típusvizsgálati jegyzőkönyv-et és „határozat”-ot kap. A jegyzőkönyv a típusvizsgálat mérési eredményeit tartalmazza, a határozat pedig maga a hitelesítési engedély.

A hitelesítési engedély kiadható általános érvényességgel, vagy feltételekkel: korlátozott időre vagy darabszámba – esetleg egyedi hitelesítési engedélyként.

Az általános érvényű hitelesítési engedély az adott géptípusra visszavonásig érvényes.

(Csak az első import-gépet kell típusvizsgálatni, az utána behozott azonos típusú gépek automatikusan hitelesíthetők az első megvizsgált gép hitelesítési engedélye alapján.) A kiadott hitelesítési engedély tehát nem a kérelmező kizárólagos tulajdona, hanem az engedélyezett mérőeszközre szóló hivatalos határozat.

A típusvizsgált gép hitelesítési engedélyét közzéteszük az OMH hivatalos lapjában a MÉRÉSÜGYI KÖZLEMÉNYEK-ben. A szöveges leírás mellé a keménységmérőgép képét is közöljük.

Ha a keménységmérőgép nem felel meg az előírásoknak, akkor a típusvizsgálati jegyzőkönyv mellé elutasító határozatot adunk ki. A típusvizsgálatot az elutasítást követően egy esetleg elhúzódoó javítás vagy gépcseré után – ismét írásbeli kérelemre – újra kezdjük.

### Észrevételek, javaslatok

Keménységmérőgép vásárlása előtt célszerű tájékozódni az OMH Erő- és Keménységmérések Laboratóriumában személyesen vagy telefonon, hogy a vásárlásra kiszemelt gép rendelkezik-e hitelesítési engedéllyel, – minden érdeklődőnek szívesen rendelkezésére állunk.

Ha a gép számunkra ismeretlen, annak prospektusával keressék fel laboratóriumunkat, a leírás alapján elmondjuk észrevételeinket, így megelőzhető az, hogy olyan gépet vegyene, amelynek mérési módszere, gyárilag megadott paraméterei elve nem felelnek meg a hazai előírásoknak.

Előfordul újabban, hogy olyan keménységmérőgépet szállítanak külföldi cégek – főleg gyártásközi ellenőrzésre szánt félautomata célgépeket – amelyek működési elve nem a hagyományos mérési módszereken alapul. Sajnálatos, de ezek a gépek emiatt eleve nem kaphatnak hitelesítési engedélyt. Mivel ezek a célgépek igen drágák, ezért beszerzésük előtt mindenképpen érdemes tájékozódni a törvényes előírásokról, így elkerülhető az utólagos viták, csalódások.

Bízunk benne, hogy fentiek ismeretében könnyebb lesz választaniuk és ha olyan gépet vesznek meg, amelynek nincs hitelesítési engedélye, ezek után a típusvizsgálattal kapcsolatos kérdésekben nem lesznek tanácsatlanok.

## II. Hitelesítés

### Közérdekű tudnivalók

A fémipari keménységmérőgépeket és a keménységi behatolótesteket (HRC, HV gyémánt) évenként kell hitelesíteni.

A behatolótesteket a keménységmérőgép hitelesítése előtt célszerű hitelesíteni, mert a gép hitelesítésének előfeltétele, hogy a hoz-

\* Országos Mérésügyi Hivatal



zá tartozó behatolótest érvényes hitelesítési bizonyítvánnyal rendelkezzen.

A hitelesítési bizonyítványok érvénye a vizsgálat napjától számított egy év.

A keménységmérőgépet az egyéves időszak lejártá előtt is újra kell hitelesíttetni, ha a gépet áthelyezik, vagy mérési pontosságot befolyásoló javítást végeznek rajta.

Ha a gép használójának kétségei támadnak annak pontosságát illetően, az egyéves időszakon belül is bármikor kérheti az Országos Mérésügyi Hivataltól a gép – vagy a behatolótest – újbóli hitelesítését.

A fémipari keménységmérőgépek hitelesítését az OMH Hitelesítési Főosztályának Anyagvizsgáló Gépek és Készülékek (AGK) csoportja, illetve az OMH területi szervei végzik, mégpedig Miskolcon, Debrecenben, Szolnokon, Szegeden, Pécsen, Győrben és Szombathelyen.

A hitelesítést a gép használójának vagy a javítást végző szervnek írásban kell kérelmezni. A hitelesítési kérelemnek tartalmaznia kell a keménységmérőgép gyártmányát, típusát, gyári számát, a hitelesítendő terheléseket (ha nem kívánják végig mérteni a gépet!), valamint a gép felállítási helyét.

A hitelesítési kérelem alapján az OMH írásban, vagy telefonon közli a hitelesítés várható időpontját.

A hitelesítéshez a keménységmérőgépet elő kell készíteni:

- a gépet és tartozékait le kell takarítani;
- el kell végezni a gépkönyvben előírt karbantartási munkákat;
- célszerű ellenőrizni – és ha kell utánaállítani – a gép vízszinteségét;
- hiteles behatolótestet kell biztosítani a géphez.

A hitelesítés szemrevételezésből, szerkezeti vizsgálatból és mérés technikai vizsgálatból áll:

- Szemrevételezéssel elbíráljuk a gép megfelelő felállítását, kúlalakját (tisztaság, adattábla, sérülés).
- A szerkezeti vizsgálat során a gép megfelelő működését ellenőrizzük.
- A mérés technikai vizsgálat során megmérjük a terhelő erőket és funkcióvizsgálatot végzünk.

Ha a gép megfelel a törvényes mérésügyi előírásoknak, akkor az – a hitelesítést végző OMH kiküldött szóbeli nyilatkozata alapján – a vizsgálat napjától hiteles mérésekre használható. (Az ebben kételkedő átvevővel, külső partnerrel közölheti a gép üzembentartója, hogy a hitelesítési bizonyítvány kiadása folyamatban van, eziránt telefonon bárki érdeklődhet az OMH-nál.)

Ha a gép nem felelt meg a törvényes mérésügyi előírásoknak, további mérésekre tilos használni! A gép üzembentartója választhat: vagy megjavíttatja a gépet, vagy kérheti az Országos Mérésügyi Hivataltól a gép lezárását. (A lezárás a lejárt hitelességű, hibátlan gép esetében is kérhető, időbeni korlátozás nélkül.)

A leplombált gépet kívánságra bármikor újranyomtatjuk és az újból használható lesz hiteles mérésekre.

A gép javítás utáni hitelesítését a javítószerv köteles kérelmezni.

A keménységmérőgép ún. időszakos hitelesítését a hitelesítési bizonyítvány lejártá előtt kb. két hónappal célszerű kérelmezni, a kérelemben meg lehet adni a hitelesség érvényét, így a hitelesítés napja ennek figyelembevételével tűzhető ki.

## Észrevételek, javaslatok

Ezúton szeretnénk közreadni néhány jó tanácsot több éves tapasztalataink alapján, melyeket segítségül kínálunk fel ahhoz, hogy a hitelesítésnél a keménységmérőgépek „megfelelő” minősítést kaphassanak és hogy a hiteles gépekkel minél pontosabban mérhessenek:

- Alapvető dolog a gépek felállítása. A gépeket rezgésmentes helyen stabil vasasztalra, vasállványra, megemelt betonlapra célszerű felállítani, vízszintezni és rögzíteni. A tárgyasztal-orsó számára – a teljes lehajthatóság céljából – az asztalt, az állványt ki kell fűzni. (A kimustrált íróasztal vagy egyéb faalkalmatosság nem jó felállítási mód, mert nem stabil, a faanyag a levegő páratartalma függvényében mindig „dolgozik”, nem lehet a gépet időtállóan vízszintezni, beremeg stb.)
- Gyakori eset, hogy a gépekhez házilag készítenek tárgyasztalokat. Ez nem tilos, de az így készült tárgyasztalnak néhány alapvető követelményt ki kell elégíteni: A tárgyasztalt köszörülési ráhagyással kell készíteni, nemesíteni kell, sík lapját és az orsóra felfekvő felületét köszörülni kell (e két felület párhuzamos legyen). A tárgyasztal csapját is köszörülni kell és igen kis játékkal kell illeszteni a tárgyasztal-orsó furatába (pl. H7/h6). A tárgyasztal síkja merőlegesen legyen a terhelő erő hatásvonalára.

Prizmás tárgyasztal esetében a terhelő erő hatásvonalára a prizma középvonalára eszen.

Továbbá: a tárgyasztal felfekvő felülete – akár a gyári eredeti, akár a házi gyártmány – rozsdás, szennyezett nem lehet. Ha a régi tárgyasztal síkja homorúvá kopott, hitelesítés előtt át kell köszörülni!

- A gépek ellenőrzésére szolgáló keménységösszehasonlító lapokat csak egyik oldalukon szabad használni, csakis a mérőfelületen! A támasztófelület (a másik oldal) nem mérőfelület, erre tilos lenyomatot készíteni! (Az ideszűrt lenyomat a bemért oldalon billegést, hibás mérést eredményez.)

A keménységösszehasonlító lapokat – ha felületük már megtelt lenyomattal – (tapasztaltuk!), nem szabad átköszörülni, mert a régi lenyomatok alatt (és környezetében) az anyag szemcseszerkezete megváltozott, átköszörülés után nagy szóródást mutat a lap keménysége (lágyfoltosság), újbóli felhasználása nem megengedett.

A keménységösszehasonlító lapon a lenyomatsűrűség csak annyira növelhető, hogy a mérést ne hamisítsa meg a szomszédos lenyomatok feltüremkedése és bekeményedése!

- Cementált, edzett kéreg vagy vékony lemezek keménységének mérését – a szab-

vány előírásainak megfelelően – olyan kis vizsgálóerővel szabad mérni, hogy a behatolótest ne szúrja át az anyag bekeményedett felső rétegét, illetve a vékony lemez ne mérjük keményebbre a valóságosnál (beleértve a tárgyasztal képezte alátámasztást)!

- Előfordul, hogy  $\pm 1$  HRC hőkezelési tűrést írnak elő egy gépraizon. Ez esetben fel kell világosítani a tervezőt, a technológust, hogy a keménységmérőgépek megengedett hibája  $\pm (1,5-2)$  HRC és ha pl. az 50 HRC keménységű lapot az egyik gép 48, a másik 52 HRC keménységnek méri, még mindkét gép hiteles lehet, pedig 4 HRC (!) az eltérésük! Ezt ugyan a gép és a behatolótest korrekciójának figyelembevételével lecsökkenthetjük, de 2-3 HRC eltérése nem szabad vitába szállni (pl. hőkezelő üzem és MEO között), hogy kinek mér jól a gépe?!
- Olajfékkel szabályozott keménységmérőgépeknel, ha kifogyóban van (vagy kifogyott) az olaj a fékhengerből, azt utána kell tölteni és légteleníteni, majd beszabályozni a megfelelő ráterhelési sebességet. Nagyon rossz módszer az, ha valaki ehelyett úgy mér a géppel, hogy a gép karját kézzel visszatartva igyekszik lassan ráengedni a terhelést a behatolótestre!
- Ha durvább mérési hibát tapasztalnak gépükön, akár egyszerű nagyítóval is érdemes megvizsgálni a behatolótestet, nem sérült-e meg, nem törött-e el a gyémántcsúcs? Kár beküldeni hitelesítésre a törött gyémántot!
- A mérések pontossága érdekében a mérendő munkadarab előírt felületi finomságot biztosítani kell!
- A méréshez behelyezett behatolótesttel először 2-3 kiértékeletlen mérést végzünk, (hogy a behatolótest jól beüljön, elhelyezkedjen furatába) és csak ezután kezdjük el a mértékadó méréseket.
- Lehetőleg mindig használjuk a tárgyleszórító sapkát, így pontosabb mérési eredményt kapunk.

Reméljük, hogy a keménységmérőgépek hitelesítésével kapcsolatban sikerült megválaszolni sok olyan kérdést, mely az anyagvizsgálattal foglalkozó kollégák előtt nem volt elég egyértelmű. Ha mégis maradt nyitott kérdés, az érdeklődőknek mindig szívesen állunk rendelkezésére.

## A témához kapcsolódó fontosabb jogszabályok

Az 1991. évi XLV. törvény a mérésügyről és a Kormány 127/1991. (X.9.) rendelete a mérésügyről szóló törvény végrehajtásáról (Magyar Közlöny 1992. évi 111. szám)

MSZ 104/3-1986 Anyagvizsgálógépek ellenőrzése. Brinell keménységmérőgépek. (azonos az ISO 156:1982-vel)

MSZ 104/4-1986. Anyagvizsgálógépek ellenőrzése. Vickers keménységmérőgépek. (azonos az ISO 146:1984-gyel)

MSZ 104/5-1988. Anyagvizsgálógépek ellenőrzése. Rockwell keménységmérőgépek. (azonos az ISO 716:1986-tal)

923 083 060



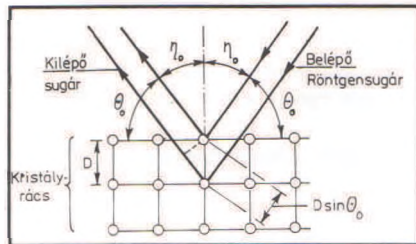
# Maradó feszültségek mérése röntgen-diffrakciós módszerrel

Dr. Thamm Frigyes\*

Maradó feszültség roncsolásmentes kimutatásának és mérésének feltétele, hogy az alkalmazott mérési módszer „beelásson” a szekezeti anyag felépítésébe és annak pillanatnyi állapotát érzékelni tudja. Az ilyen módszerek közül a legrégebbi, bár költséges vizsgálati eljárás, a legjobban kifejlett módszer a röntgen-diffrakció. Ez kristályos szerkezetű anyagokból készült szerkezetek (gyakorlatilag fémszerkezetek) vizsgálatára alkalmas és ma már kellően pontos, megbízható mérések elvégzését teszi lehetővé.

## Fizikai alapok

A röntgensugár koherens, vagyis interferenciára képes, és képes behatolni szilárd testekbe akkor is, ha a test a látható fény számára nem átlátszó. Ha kristályos szerkezetű anyagba lép be, a kristály egyes rácslapjain visszaverődik. Az egymás után következő rácslapokról visszaverődő sugarak közötti



1. ábra Röntgensugár visszaverődése a kristálysíkokról

interferencia miatt azonban a visszaverődés csak olyan  $\theta_0$  szögben lehetséges, ahol a két visszaverődő sugár közötti útkülönbség éppen a sugár  $\lambda$  hullámhossza, vagy annak egészszámszoros. Az 1. ábra jelölésével tehát

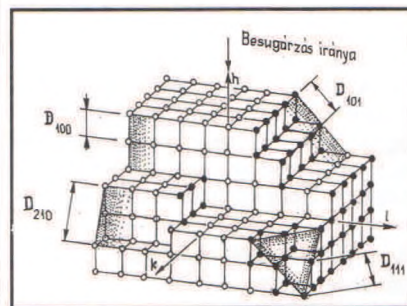
$$2D \sin \theta_0 = n\lambda \quad (1)$$

Az  $n$  egész szám és  $D$  a szomszédos kristálysíkok közötti távolság, az ún. *rácsparaméter*. A rácsparaméter minden kristály számára ismert, jellemző méret. Ha a kristályt külső erőhatás terheli, az ezáltal kiváltott alakváltozás miatt a rácsparaméter is megváltozik, így vele változik a reflexióképes szög is. A mérés alapja a szög változásának meghatározása.

Jól észlelhető diffrakció akkor következik be, ha a röntgensugár hullámhossza a rácsparaméter nagyságrendjébe esik. Fémek vizsgálatához ezért viszonylag nagy hullámhosszú, nagy röntgensugár szükséges, lényegesen lá-

gyabb annál, mint amit anyaghibák kimutatására használnak. Az ilyen röntgensugár a fémekbe csak igen kis mélységben hatol be, tehát gyakorlatilag csak a test felszínén uralkodó síkbeli feszültségállapotot érzékeli.

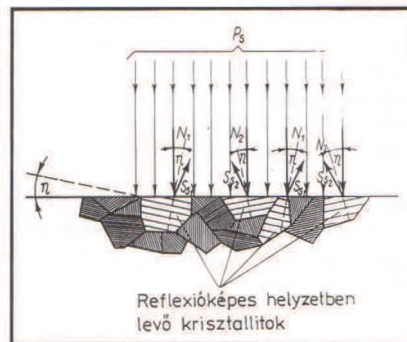
A diffrakció nem csak a köbös térrácsú fémek szomszédos kristálysíkjain visszaverődve léphet fel. Reflexióképes minden olyan sík, melyben részecskesorok mutathatók ki. Néhány ilyen síkot példaképpen a 2. ábra mutat. Az ilyen síkok jelölésére a kristálytanban



2. ábra Köbös kristály rácsparamétereinek kristálytani jelölése különböző rácslapok esetén. Besugárzás iránya a választott fő rácslapra beeső és onnan visszaverődő sugár szögfelezőjének iránya

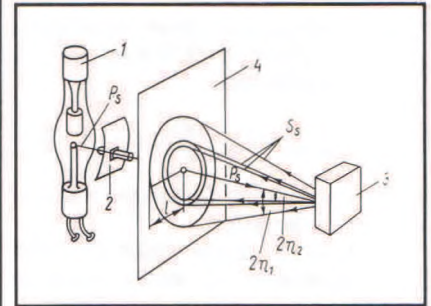
az ún.  $\{hkl\}$  index használatos. Ennek tagjai három (köbös térrács esetén egymásra merőleges) jobbrendszert alkotó tengelyt jelölnek. Az egyes indexek számértéke azt jelenti, hogy az egyik részecskesorától a következőig a három tengely mentén hány  $D$  rácsparaméter-értéknyi elmozdulással jutunk.

A fémek apró gyakorlatilag teljesen rendezetlen kristallitok halmazából állnak, (a különleges esetektől itt eltekintünk). Így bármilyen irányból érkezik is a röntgensugár, mindig találkozik a beesési irányához képest reflexi-



3. ábra Fémeket alkotó kristallitthalmazban a beeső  $P_s$  sugár mindenképpen talál reflexióképes helyzetben levő kristallitot.  $N_1$ ;  $N_2$ : a kristálysíkok normálisai,  $S_{S1}$ ;  $S_{S2}$ : reflektált sugarak

óképes helyzetben levő kristallitokkal, a mint az a 3. ábra mutatja. Mivel az ilyen kristallitok a beeső sugár, mint tengely körül a térben bármilyen helyzetben előfordulhatnak, a visszavert sugár útjába helyezett ernyőn köröket (az ún. Debye-gyűrűket) alkotnak. Mivel



4. ábra A kristallitok térbeli elhelyezkedése miatt a képernyőn a reflektált sugarak körök képében jelentkeznek

különböző  $n$ -értékek és különböző reflexióképes síkok hatására keletkeznek diffrakciós gyűrűk, a képernyőn a terheletlen alkatrész vizsgálata esetén, koncentrikus körök egész sora fog megjelenni, (4. ábra).

A vizsgált fémtest alakváltozásának hatására a rácsparaméter is megváltozik és ezzel  $\theta_0$ -hoz képest megváltozik a  $\theta$  szög is. A diffrakciós körök ellipszisekké torzulnak. A  $D$  rácsparaméter és a  $\theta$  szög közötti kapcsolat felállításához az (1) összefüggést  $D$  szerint deriváljuk, amiből a rácsparaméter fajlagos változására

$$\frac{dD}{D} = -\cotg \theta \cdot d\theta \quad (2)$$

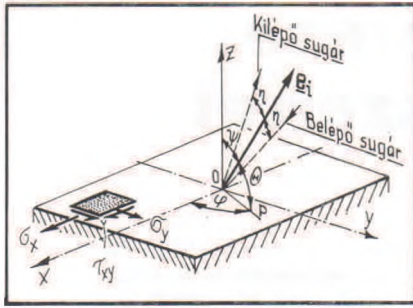
adódik. Mivel  $dD/D$  értéke a fajlagos nyúlás nagysági rendjébe esik, tehát kb.  $10^{-4}$  érték körül mozog, a  $\theta$  szög változása is csak kis mértékű, ezért  $\cotg \theta \approx \cotg \theta_0$ , és  $d\theta$  pedig a  $\theta_0$  és a terhelt testben mért  $\theta$  különbsége. Ez utóbbit a beeső és visszavert sugár irányának felező merőlegességét jellemző  $\varphi$  és  $\psi$  szögekre való hivatkozással (l. az 5. ábrát)  $\theta_{\varphi\psi}$ -vel szokás jelölni.

## A kiértékelő egyenlet levezetése

Mivel – mint említettük – a sugár csak a fémtest igen vékony felszíni rétegébe hatol be, ott sík feszültségi állapotot lehet feltételezni, amint azt az 5. ábra mutatja. A röntgen-diffrakció a beesési és visszaverődési irányt felező  $\theta_i$  irányú alakváltozást észleli. Az ebbe az irányba eső alakváltozási össze-

\* Budapesti Műszaki Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék





5. ábra A vizsgált test felszínének feszültségállapota. Ennek hatására a berajzolt irányban beeső illetve kilépő sugár az  $\epsilon_i$  irányú nyúlást érzékeli

tevő a rugalmasságtan ismert összefüggései alapján, pl. [1]-ben közölt levezetés alapján, az 5. ábra jelöléseivel

$$\epsilon_i = \frac{1+\nu}{E} \sigma_\varphi \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \quad (3)$$

Itt  $E$  a vizsgált anyag rugalmassági modulusa  $\nu$  a Poisson-tényező.

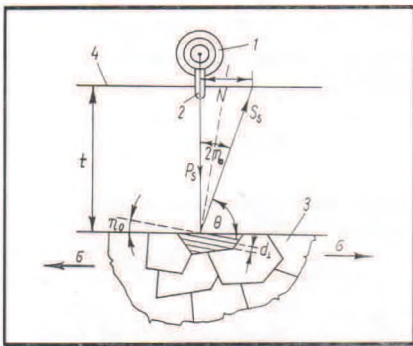
A  $\sigma_\varphi$  az 5. ábrába bejelölt OP irányú feszültségösszetevő, az ábrába bejelölt feszültségösszetevők alapján következőképpen számítható

$$\sigma_\varphi = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\varphi + \tau_{xy} \sin 2\varphi \quad (4)$$

De  $\epsilon_i = dD/D$ , azaz a (3) és a (2) összefüggést egyenlővé téve,  $\sin^2 \psi$  szerint deriválva és rendezve kapjuk:

$$\sigma_\varphi = \frac{E}{1+\nu} \cotg \Theta_0 \frac{\partial(\Theta\varphi; \psi)}{\partial \sin^2 \psi} \quad (5)$$

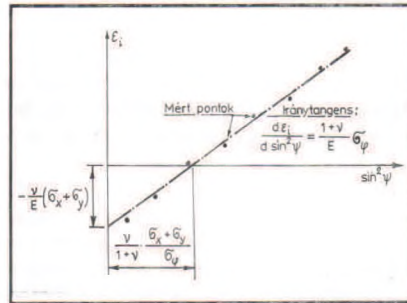
Mivel  $2\eta_0 = 180^\circ - 2\theta_0$  és a 6. ábra jelöléseivel  $\tg 2\eta_0 = l/t$ ,  $\theta_0$  ill.  $\Theta\varphi$ , a kiértékeléshez választott Debye-gyűrű  $l$  sugarából és a gyűrűket telfogó képernyő és a tárgy vizsgált pontja közötti  $t$  távolság ismeretében  $\sigma_\varphi$  meghatározható. Ha a vizsgált tárgynak ugyanazt a pontját a  $z$  tengely és az OP egyenes által képzett síkban különböző  $\psi$



6. ábra A röntgen-feszültségmérés elve; a test felszínétől  $t$  távolságban levő ernyőn  $l$  sugarú diffrakciós kör, illetve  $l$  féltengelyű ellipszis keletkezik.  $P_s$  beeső sugár,  $S_s$  visszavert sugár  $d$  reflexióképes kristályrácsparaméter.  
1 - röntgeneső, 2 - diafragma, 3 - vizsgált test, 4 - képernyő

szögben sugározzuk be és az  $\epsilon_i$  nyúlást  $\sin^2 \psi$  függvényében diagramba rajzoljuk, a (3) képlet értelmében egyenest kapunk (7. ábra). Ennek az egyenesnek az iránytangense az ábra értelmében  $\sigma_\varphi (1 + \nu)/E$ , a  $\sin^2 \psi = 0$  értékhez tartozó ordináta pedig  $-\frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y)$ . A ki-

értékeléshez választott Debye-gyűrű  $l$  sugarából és a gyűrűket telfogó képernyő és a tárgy vizsgált pontja közötti  $t$  távolság ismeretében  $\sigma_\varphi$  meghatározható. Ha a vizsgált tárgynak ugyanazt a pontját a  $z$  tengely és az OP egyenes által képzett síkban különböző  $\psi$



7. ábra A  $\sin^2 \psi$ -eljárásról felvett mért pontok és az azokra fektetett kiértékelő egyenes

sérletet egy másik síkban (más  $\varphi$ -érték esetén) megismételve a sík feszültségállapot minden egyes összetevője meghatározható. A vázolt kiértékelési módszert az elmondottakra való tekintettel  $\sin^2 \psi$ -módszernek nevezik.

### A kiértékelési módszer kritikai elemzése

Az (5) képlet levezetésekor két feltétellel éltünk.

a. A kristallit rugalmas viselkedését a test makroszkópikus rugalmas viselkedésével egyezőnek tekintettük

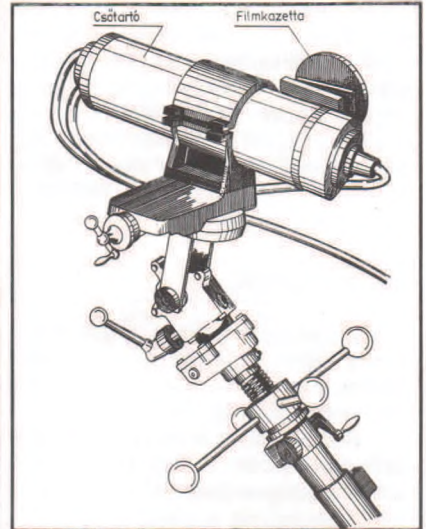
b. Tökéletes (hibátlan) kristallitszerkezetet tételeztünk fel.

A következőkben ennek a két feltételnek a hatását vizsgáljuk.

A kristallit valódi rugalmas viselkedését figyelembe vehetjük azáltal, hogy az [3] képletben szereplő  $(1 + \nu)/E$  és  $-\nu/E$  makroszkópiusan meghatározott rugalmassági állandókat a kristallit számára kimért  $s_2^{R0/2}$  ill.  $s_1^{R0}$  állandókkal helyettesítjük. Ezeket úgy határozzuk meg, hogy a vizsgált alkatrészrel azonos anyagból készült próbatesten húzó, vagy hajlítókísérletet végzünk és az ismert feszültségállapottal terhelt próbatesten elvégezzük a röntgen-feszültségvizsgálatot. A mikroszkópikus (a kristallitra vonatkozó) rugalmassági állandók nyilván függenek a választott Debye-gyűrűkhöz tartozó reflektáló kristálysíktól is. A makro- és mikroszkópikus rugalmassági állandók eltérésének szemléltetésére az 1. táblázatban példaképpen [1] alapján összehasonlítottuk acélok makroszkópikus rugalmassági állandóit néhány mikroszkópikus állandóval

A kristallitok rácshibáinak hatása a vizsgálat alkalmával abban jelentkezik, hogy az elméletileg matematikai vonal alakú Debye-gyűrűk a valóságban véges szélességűek, szélességükre még a sugárzás intenzitáseloszlásának felvételtechnikája és a röntgen-sugár nem tökéletes koherenciája is befolyás-

sal van. Mivel az eltérés  $\theta_0$  és  $\Theta\varphi$  között igen kicsi, ezért a gyűrűk helyét meghatározni igen pontosan kell. A gyűrű pontos helyét oly módon határozzák meg, hogy a sugár gyűrű menti intenzitáseloszlásának a súlypontját tekintik a gyűrű középvonalának. A vonal szélessége elvileg felviágosítást adhat a kristályszerkezet szemcseméret-eloszlására és pl. az anyagkifáradás kísérőjelenségeire is, ez azonban már különleges vizsgálatot igényel.



8. ábra Röntgen-feszültségmérő berendezés egy régebbi kivitele, (Szántó, 1960)

### A mérő berendezés

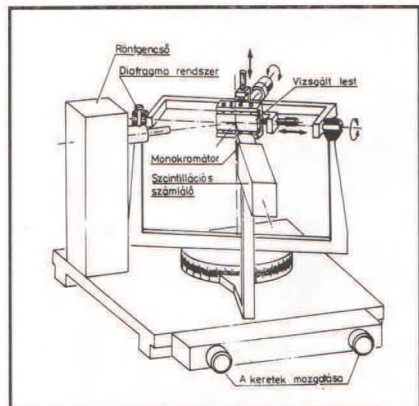
A méréshez szükséges berendezés egy régebbi kiviteli formáját a 8. ábra mutatja. A berendezés működési elve a 6. ábrán bemutatottak felel meg. A diffraktogramokat fényképezéssel veszik fel és a kiértékelést a fényképek kimérésével végzik a kis alakváltozások miatt, nagy pontossággal mikrofotométer segítségével. Fényképező anyagként zsugorodásmentes különleges lemezeket használtak. A röntgeneső pontos pozicionálására szolgált a 8. ábrán látható négyféle állítási lehetőség is. Ennek ellenére az ilyen típusú berendezés vizsgálati pontossága meglehetősen kicsi volt. Így Szántó [2] a mérés elérhető pontosságát  $\pm 30\text{-}40$  MPa-ban adta meg. Igen nehézkes volt a különböző besugárzási irányok ( $\phi$   $\psi$  szögek) beállítása is.

Ezeknek a nehézségeknek a kiküszöbölésére terjedt el a diffraktométeres mérési módszer. Ennél az egyes diffrakciós sávok helyét és intenzitáseloszlását szcintillációs számlálóval határozzák meg. Ez egyrészt a sávok helyének meghatározását teszi pontosabbá, másrészt a számláló mérési eredményei közvetlenül számítógéphez csatlakoztathatók, ami a kiértékelést nagyon meggyorsítja.

Egy diffraktométer vázlatát a 9. ábra mutatja. Ennél a vizsgált munkadarab két koordinátatengely körül elforgatható keretben van elhelyezve oly módon, hogy a besugárzott pont



helye a munkadarab billentésekor se mozduljon el, ami a  $\sin^2\psi$  módszer által megkívánt méréssorozatot nagyon megkönnyíti. A berendezés felépítése ugyanakkor határolja a vizsgálható munkadarab méreteit, a bemutatott kivétel esetén kb. 20 x 20 x 5 cm-ben, illetve kb. 10 kg-os tömegben.



9. ábra Korszerű röntgen-diffraktómer vázolata

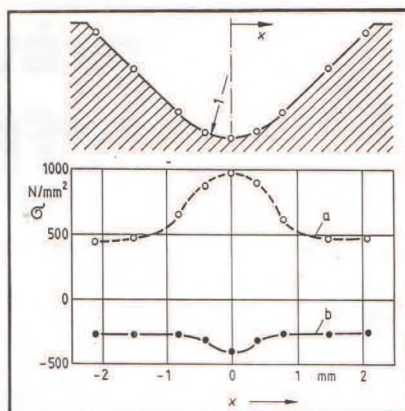
A készüléket a szórt röntgensugárzás káros hatásának elkerülésére ernyőzni kell. Régebbi készülékeket – hasonlóan az anyagvizsgálati célra használtakhoz – külön helyiségben helyezték el, a modern berendezések már saját ernyőzéssel rendelkeznek. A viszonylag lágy sugárzásra való tekintettel igen hatékony ernyőzés lehetséges, így külön előkészített helyiségbe telepítésre nincs szükség.

### A módszer alkalmazási területe

A berendezések ismertett felépítése alapján a módszert főleg kisebb méretű alkatrészek technológiai eredetű maradó feszültségeinek a kimutatására használják. Ezekre egy-egy példát a 10. és 11. ábrák mutatnak.

A 10. ábra maradó feszültségek eloszlását mutatja [1] alapján, edzett acélból készült alkatrész kőszörült hornyja tövében, a kőszörülés síkjára merőleges síkban. A maradó feszültségeket a kőszörülés munkafázisa során keletkező képlékeny alakváltozás és hőhatás váltotta ki, amit az is mutat, hogy két különböző fogásmélység és megmunkálási sebesség esetén a maradó feszültségek eloszlása és nagysága alapvetően különbözik.

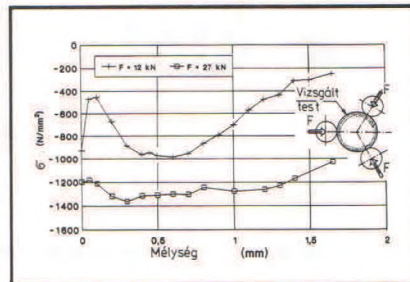
A 11. ábra nagyszilárdságú ötvözött acélból készült henger (tengelyanyag) görgőzés hatására fellépett gyűrűirányú maradó feszültségeinek eloszlását mutatja [3] szerint a görgőzésnél alkalmazott két különböző nagyságú F szorító erő hatására. A henger anyagának jele DIN szerint 56 NiCrMo V7, szakítószilárdsága  $R_m = 2150 \text{ N/mm}^2$ . A maradó feszültségnek a henger vastagsága menti eloszlását oly módon sikerült mérni, hogy mindegyik mérés után a henger felszínéről elekt-



10. ábra Csiszolás technológiai paramétereinek hatása Ck 45 anyagú acélszálkában készített horony feneké környezetében kialakuló maradó feszültség-eloszlásra.  
a: fogásmélység: 15  $\mu\text{m}$ , forgácsolási sebesség:  $v = 30 \text{ m/s}$   
b: fogásmélység: 3  $\mu\text{m}$ , forgácsolási sebesség:  $v = 15 \text{ m/s}$

rolitikusan egy-egy 0,05 - 0,1 mm vastag réteget leoldottak. Ezzel a módszerrel a feszültségnek a test vastagsága menti eloszlását olyan mélységig lehet vizsgálni, ameddig a rétegek elvétele nem változtatja meg észrevehető mértékben a megmaradó rész feszültségeloszlását. A vizsgált test mérete (átmérő 63 mm) esetében a vizsgálat ezt a vastagságtartományt nagyjából teljesen kihasználta.

A bemutatott példák jellemzőnek tekinthetők a röntgen-feszültségmérés alkalmazási területe számára. A módszer különösen alkalmas vékony felszíni rétegekben technológiai hatásra (képlékeny alakítás, cementálás, nitridálás stb.) fellépő maradó feszültségi állapotok meghatározására. Minthogy ezeknek a maradó feszültségeknek igen nagy hatása



11. ábra Görgözött tengelyanyagban a görgőzés hatására ébredő maradó feszültség eloszlása a henger felszínétől befelé haladva, két különböző F szorító erő esetén

van az erősen terhelt szerkezeti elemek kifáradási tulajdonságainak javítására, a módszer jelentősége korszerű, versenyképes gépipari termékek kifejlesztésében jelentős és előreláthatólag a jövőben még tovább fog növekedni.

### Irodalom

- [1] Rohrbach, Chr.: Handbuch für experimentelle Spannungsanalyse. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989.
- [2] Thamm, F. - Ludvig, GY. - Huszár, I. - Szántó, I.: A szilárdságtan kísérleti módszerei. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [3] Benning, D. - Müller, E.: Stress Measurements by X-rays on Hot Formed Bar After Mechanical Surface Treatment. VDI-Berichte 940. VDI-Verlag Düsseldorf, 1992.

923 085 007

### I. táblázat:

A makroszkópikus anyagállandók összehasonlítása a röntgen-diffrakciós kísérletek alapján az [1]-ben megadott mikroszkópikus anyagállandókkal

Anyag-szerkezet	Diffrakciós sík {hkl}	$\frac{1}{2} s_2^{R_0}$	$s_1^{R_0}$	$\frac{1+\nu}{E} *$	$-\frac{\nu}{E} *$
		$10^6 [\text{mm}^2/\text{N}]$			
Ferrit Martenzit	{211}	5,76	-1,25	6,19	-1,43
	{310}	6,98	-1,66		
	{732 + 651}	6,05	-1,34		
Ausztenit	{311}	6,98	-1,87	7,03	-1,62

\* A makroszkópikus anyagállandókat az alábbi felvett adatok alapján számítottuk:  
Szerkezeti acél (ferrit, martenzit szerkezetű):  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ .  
Ausztenites acél:  $E = 1,85 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ .  
A Poisson-tényező mindkét esetben:  $\nu = 0,3$



# SEIFERT

## A SEIFERT-gyártmányú

**ipari röntgen  
készülékek,  
átvilágítók és  
tartozékaik  
a gazdaságos  
anyagvizsgálat  
megbízható  
és nagy teljesítményű  
eszközei**



Képviselet, szerviz:

**Wilhelm Budapest Kft.**

Budapest V.,  
Petőfi tér 1.  
Tel.: 118-3813  
Fax: 118-3737



**RICH. SEIFERT & CO. GmbH & Co KG**  
**Röntgenwerk**

Bogenstraße 41 · D-2070 Ahrensburg · Tel.: (04102) 76 - 0  
Telefax: (04102) 7 61 89 · Telex: 2 189 826

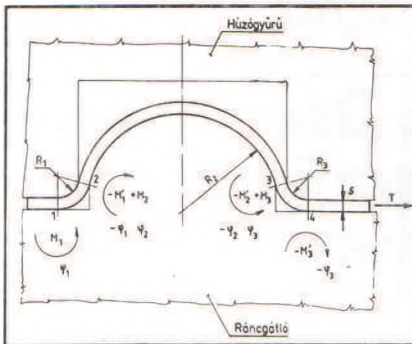


# Ciklikus folyásgörbék felvétele a lemezalakítási folyamatok számításaihoz

dr. Krallics György – dr. Szabadits Ödön – dr. Lovas Jenő

A nagyméretű sajtolt lemezalkatrészeknél – autó karosszériaelemeknél, háztartási készülékek burkolatánál stb. – a lemezsajtolás során számos esetben építenek be az alakítószerszámokba fékezőbordát. A fékezőbordán áthaladó lemezben (1. ábra) – a többszörös hajlítás és kiegyenlítés miatt – járulékos húzófeszültség ébred, amely csökkenti a viszszarugózást, a hullámosodást stb., és ezáltal javul a munkadarabok alakhússége.

Az alakítási folyamat számításával való nyomonkövetéséhez ismerni kell a fékezőborda által kifejtett erőhatást, amely a lemez kihúzásához szükséges (1. ábrán a  $T$  erő). A fékezőerő kiszámítására több számítási módszer ismeretes. Weidemann [1,2] eljárásánál a fékezőbordán áthúzott lemezben a húzófeszültség – amelyet a továbbikban bordareakciónak nevezünk – a sík lapokon lévő



1. ábra A nyújtva-hajlítás során a fékezőbordán áthúzott lemez igénybevétele

súrlódásból, a különböző sugarú szerszám-elemeknél áthúzott lemez kötelsúrlódásából, valamint a lemez meghajlításából és kiegyenlítéséből tevődik össze. Ez a módszer eltekint az anyag alakítása során bekövetkező keménységnövekedéstől és a ciklikus hajlításnál a Bauschinger-effektustól.

Yellup [3] elemi szálak összességéként kezeli a fékezőbordán átcúszó lemezt. Nine [4] kísérleti berendezést készített, amellyel a lemezsáv átcúszásához szükséges erő szétválasztható a lemez többszörös hajlításához és kiegyenlítéséhez, valamint a súrlódás legyőzéséhez szükséges erőre. Arra a megállapításra jutott, hogy az alakítási folyamat, a monoton alakváltozáshoz tartozó feszültség-nyúlás összefüggésével nem írható le, csak a ciklikus nyúlás-feszültség görbék írják le a valóságot, de erre nem közöl megoldást.

Sunaga és Makinouchi [5] végelem-eljárást dolgozott ki a fékezőborda hatásának a vizsgálatára. Brekelmans és Hoogenboom [6] a lemez hajlításának és kiegyenlítésének

a folyamatát az energetikai módszer alkalmazásával elemzi, a Bauschinger-hatás nélkül.

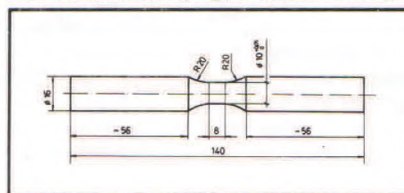
A fékezőbordán áthúzott lemez keményedési folyamatát csak a ciklikus folyásgörbe ismeretében lehet pontosan leírni, amelynek meghatározásához korszerű anyagvizsgálati módszer szükséges.

Irodalmi források alapján [7-11] – a ciklikus alakváltozás nagyságától függően – az alakítási folyamat alatt az alakítási szilárdság ( $k_1$ ), a monoton alakváltozáshoz tartozó folyáshatár értékeknek akár 40-60 %-ával is csökkenhet.

A fentiekben vázolt jelenség tisztázására kísérleteket végeztünk a ciklikus igénybevételhez tartozó folyásgörbe felvételére. A ciklikus folyásgörbe alakját és számszerű értékeit befolyásolja a ciklusonkénti nyúlás nagysága. A fékezőbordán áthúzott lemez átlagos alakváltozását ( $\bar{\epsilon}$ ) [12] szerint meghatározva, az 1. ábrán lévő jelölésekkel az  $R_1 = R_3 = 3$  és az  $R_2 = 4$  mm-es méretű fékezőborda valamint  $s = 0,8$  mm vastag lemez esetében  $\bar{\epsilon} = 0,053$  értékű. Ezért vizsgálatainkat  $\bar{\epsilon} = 0,05$  ill.  $\bar{\epsilon} = 0,1$  nyúlás-amplitudóval végeztük.

## A ciklikus folyásgörbe felvétele

A kísérletekhez a 2. ábrán látható próbatestet használtunk. A próbatestet anyagai: kb. 3% Mg-tartalmú (AlMg3 MSZ 3714/2-74) alumíniumtötvözet és 0,1% C-tartalmú C10 (MSZ 31-85) ötvözetlen acél. A folyásgörbét az MTS 810 típusú



2. ábra A ciklikus húzó-nyomó vizsgálathoz használt próbatest rajza

sú 250 kN-os elektrohidraulikus szakítógépen vettük fel és a mérések kiértékeléséhez a Test Link-rendszert alkalmaztuk, kisciklusú fázisítás üzemmódban [13]. A próbatestek megnyúlását átmérőváltozás méréseiből számítottuk ki. A kísérletek során az átmérőváltozást  $\Delta d = \pm 2$  mm-es méréshatárú, 5 tizedesjegy kijelzés pontosságú MTS extenzométerrel mértük. A terhelésvezérlést a fékezőbordán létrejövő alakváltozáshoz hasonló értékben  $\bar{\epsilon} = 0,05$  ill.  $\bar{\epsilon} = 0,1$  – valódi megnyúlásokkal végeztük. Egy ciklus alatt 100 pontban rögzítettük az összetartozó feszültség-alakváltozás értékeit. Az ismételt igénybevételt  $f = 0,1$  Hz frekvenciával a próba-

test eltöréséig folytattuk. Ezekkel a vizsgálatokkal prázúamosan Watts-Ford módszerrel is felvettük az anyagok statikus folyásgörbéit is.

A jelen feladatra Moszkvitin V.V. [14] ciklikus képlékeny-rugalmas terhelések esetére kidolgozott elméletét alkalmaztuk. Jelöljük a feszültség és az alakváltozási tenzor elemeit az n-edik terhelési ciklusban  $\sigma_{ij}^{(n)}, \epsilon_{ij}^{(n)}$ -vel. Bevezetve az alábbi különbségeket

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{ij}^{(n)} &= (-1)^{(n)} (\sigma_{ij}^{(n)} - \sigma_{ij}^{(n-1)}) \\ \bar{\epsilon}_{ij}^{(n)} &= (-1)^{(n)} (\epsilon_{ij}^{(n)} - \epsilon_{ij}^{(n-1)}) \end{aligned} \quad (1)$$

a fenti elmélet szerint a feszültségek és alakváltozások közötti kapcsolat az n-edik ciklusban

$$\bar{\sigma}_{ij}^{(n)} - \delta_{ij} \bar{\sigma}^{(n)} = \frac{2\bar{\sigma}_u^{(n)}}{3\bar{\epsilon}_u^{(n)}} (\bar{\epsilon}_{ij}^{(n)} - \delta_{ij} \bar{\epsilon}^{(n)}) \quad (2)$$

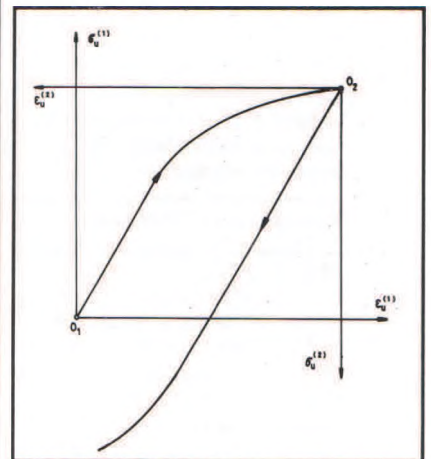
$$\bar{\sigma}^{(n)} = 3K\bar{\epsilon}^{(n)} \quad (3)$$

ahol  $\bar{\sigma}^{(n)}$ -a ciklusonként változó összehasonlító feszültség (3. ábra), K térfogati rugalmassági modulus

$$3\bar{\sigma}^{(n)} = \bar{\sigma}_{kk}^{(n)}, \quad 3\bar{\epsilon}^{(n)} = \bar{\epsilon}_{kk}^{(n)}$$

$$\bar{\sigma}_u^{(n)} = \sqrt{\frac{3}{2} \bar{\sigma}_{ij}^{(n)} \bar{\sigma}_{ij}^{(n)}}, \quad \bar{\sigma}_{ij}^{(n)} = \bar{\sigma}_{ij}^{(n)} - \delta_{ij} \bar{\sigma}^{(n)} \quad (4)$$

$$\bar{\epsilon}_u^{(n)} = \sqrt{\frac{2}{3} \bar{\epsilon}_{ij}^{(n)} \bar{\epsilon}_{ij}^{(n)}}, \quad \bar{\epsilon}_{ij}^{(n)} = \bar{\epsilon}_{ij}^{(n)} - \delta_{ij} \bar{\epsilon}^{(n)}$$



3. ábra A ciklikus folyásgörbe vázlata

A mérési eredményeket feldolgozva számításaink során a ciklikus folyásgörbét az alábbi alakkal közelítettük

$$\bar{\sigma}_u^{(n)} = E \bar{\epsilon}_u^{(n)}, \quad \bar{\epsilon}_u^{(n)} \leq \frac{c_1(n)}{E} \quad (5)$$



$$\bar{\sigma}_0^{(n)} = c_1(n) + c_2(n) \left( \bar{\epsilon}_u^{(n)} - \frac{c_1(n)}{E} \right)^{c_3(n)} \frac{c_1(n)}{E}$$

ahol E a rugalmassági modulus (AlMg3: E = 70000 MPa, C10: E = 216000 MPa)  $c_1(n)$ ,  $c_2(n)$ ,  $c_3(n)$  a ciklusszámtól függő paraméterek, amelyeket a mérési eredményekhez való függvényillesztéssel határoztunk meg (1-4. táblázat). A táblázatok egyik oszlopában szereplő  $R_{hiba}$  értékek [15] a függvényillesztés jószágára utalnak.

$$R_{hiba} = \frac{\sqrt{s^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N f_j^2}} \quad (6)$$

amelyben  $s^2 = \sum_{j=1}^N (f_j - \bar{f}_1)^2$  eltérésnégyzet az

N számú  $f_j$  értékű méréspont és az (5) egyenlettel az ugyanazon abszcisszájánál meghatározott  $f_j$  függvény között.

1. táblázat A ciklikus folyásgörbe paraméterei (anyagminőség: AlMg3, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.05$ )

AlMg3		alakváltozás = ± 0.05		
N°	$c_1$ MPa	$c_2$ MPa	$c_3$	$R_{hiba}$ %
1	52.7	349.3	0.37	3.67
2	140.1	318.4	0.14	2.73
3	200.3	314.0	0.12	2.91
4	252.1	253.3	0.08	3.23
5	293.8	230.3	0.11	2.73
6	392.3	115.4	0.10	3.45
7	365.6	181.1	0.15	3.50
8	415.7	118.6	0.13	4.89
9	387.5	168.2	0.15	3.60
10	374.9	160.1	0.07	3.27
11	397.3	174.7	0.17	3.89
12	448.5	95.3	0.12	4.21
13	368.1	188.0	0.14	4.21
14	424.4	128.0	0.10	3.17
15	441.0	147.7	0.21	4.13
16	449.7	105.0	0.11	3.91
17	388.9	201.3	0.14	3.61
18	445.5	121.5	0.12	4.58

2. táblázat A ciklikus folyásgörbe paraméterei (anyagminőség: AlMg3, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.1$ )

AlMg3		alakváltozás = ± 0.1		
N°	$c_1$ MPa	$c_2$ MPa	$c_3$	$R_{hiba}$ %
1	52.7	349.3	0.37	3.67
2	201.5	269.5	0.09	2.51
3	273.4	256.2	0.10	2.20
4	427.4	95.8	0.04	3.55
5	395.4	174.7	0.15	2.88
6	481.3	74.2	0.10	2.90
7	443.8	148.0	0.19	2.61
8	435.0	129.9	0.03	2.98
9	421.1	186.8	0.15	3.07
10	554.7	22.0	0.07	3.17
11	455.9	162.9	0.17	2.96
12	441.6	152.6	0.03	3.71
13	422.8	203.9	0.14	2.54
14	540.7	68.9	0.12	3.91
15	461.9	158.8	0.22	2.20
16	468.9	135.1	0.03	3.02
17	433.8	206.9	0.14	2.82
18	518.4	94.0	0.08	3.66

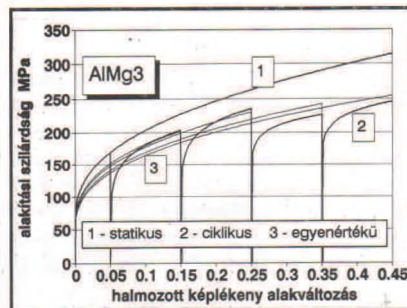
3. táblázat A ciklikus folyásgörbe paraméterei (anyagminőség: C10, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.05$ )

C10		alakváltozás = ± 0.05		
N°	$c_1$ MPa	$c_2$ MPa	$c_3$	$R_{hiba}$ %
1	215.4	855.1	0.23	1.71
2	294.8	1240.6	0.09	6.46
3	297.2	1256.4	0.07	5.66
4	301.6	1277.8	0.07	6.54
5	301.6	1282.3	0.08	7.08
6	307.3	1292.8	0.09	7.91
7	312.7	1286.9	0.07	5.92
8	310.6	1235.6	0.05	4.95
9	293.5	1320.1	0.08	6.91
10	292.9	1332.8	0.08	7.44
11	297.8	1303.9	0.07	5.86
12	298.8	1320.5	0.07	6.23
13	298.9	1347.7	0.08	6.68
14	305.7	1368.4	0.08	7.17
15	300.2	1326.2	0.07	5.60
16	300.9	1336.1	0.07	6.11
17	296.7	1371.0	0.08	6.63
18	297.7	1383.3	0.08	6.98

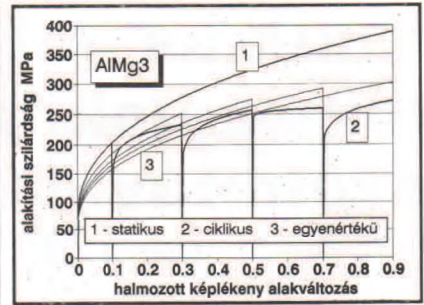
4. táblázat A ciklikus folyásgörbe paraméterei (anyagminőség: C10, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.1$ )

C10		alakváltozás = ± 0.1		
N°	$c_1$ MPa	$c_2$ MPa	$c_3$	$R_{hiba}$ %
1	215.4	855.1	0.23	1.71
2	408.7	1157.6	0.09	3.55
3	413.2	1177.8	0.06	4.75
4	418.8	1188.2	0.07	4.44
5	414.9	1218.8	0.08	4.66
6	420.4	1174.6	0.06	5.18
7	422.3	1189.1	0.06	5.23
8	422.5	1195.9	0.07	4.47
9	426.6	1232.4	0.08	5.26
10	422.5	1245.4	0.08	5.61
11	420.2	1195.8	0.07	4.52
12	424.1	1204.1	0.07	4.48
13	424.4	1231.9	0.08	5.35
14	428.6	1252.8	0.08	5.31
15	427.0	1202.2	0.07	5.42
16	432.8	1211.8	0.07	4.49
17	440.6	1241.9	0.08	5.34
18	441.7	1191.8	0.06	4.23

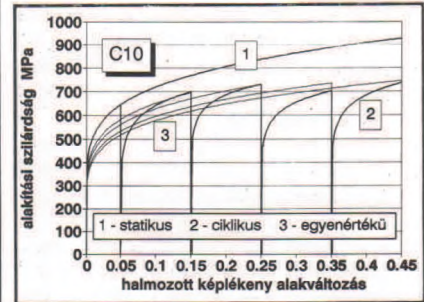
A Bauschinger-effektus kimutatása érdekében a húzó-nyomó vizsgálatlal meghatározott folyásgörbékéből a  $k_f - \bar{\epsilon}_p$  függvénykapcsolatot (alakítási szilárdság, halmozott képlékeny alakváltozás) is kiszámítottuk. A különböző anyagokra és alakváltozásamplitúdókra



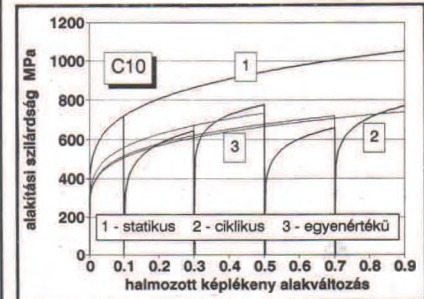
4. ábra A statikus, a ciklikus és az egyenértékű alakítási szilárdság változása a halmozott képlékeny alakváltozás függvényében (anyagminőség: AlMg3, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.05$ )



5. ábra A statikus, a ciklikus és az egyenértékű alakítási szilárdság változása a halmozott képlékeny alakváltozás függvényében (anyagminőség: AlMg3, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.1$ )



6. ábra A statikus, a ciklikus és az egyenértékű alakítási szilárdság változása a halmozott képlékeny alakváltozás függvényében (anyagminőség: C10, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.05$ )



7. ábra A statikus, a ciklikus és az egyenértékű alakítási szilárdság változása a halmozott képlékeny alakváltozás függvényében (anyagminőség: C10, alakváltozás-amplitudó  $\bar{\epsilon} = 0.1$ )

vonatkozó eredményeket a 4-7. ábrákon mutatjuk be. A ciklikusan változó alakítási szilárdság mellett definiáltunk egy, a statikus és a ciklikus terhelési görbékéből lezarmaztatható monoton görbesorozatot is, amit egyenértékű alakítási szilárdságnak nevezünk.

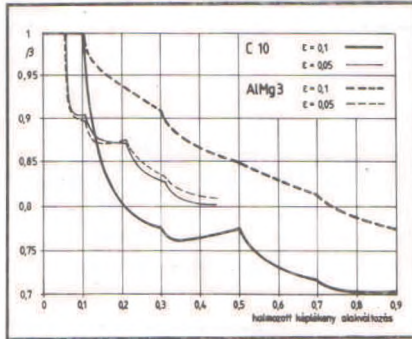
$$k_{st} = \beta k_{cik} \quad (7)$$

A  $\beta$  paraméter kiszámítása a ciklikus és statikus körülmények között meghatározott fajlagos munkák felhasználásával az alábbi egyenlet alapján történik.

$$\beta(\bar{\epsilon}_p) = \frac{\int_0^{\bar{\epsilon}_p} k_{st} d\bar{\epsilon}}{\int_0^{\bar{\epsilon}_p} k_{cik} d\bar{\epsilon}} = \frac{W_{stat}}{W_{cik}} \quad (8)$$



A 8. ábrán a  $\beta$  paraméter változása látható a vizsgált terhelési folyamat néhány ciklusánál. A méréseinkkel bemutattuk azt, hogy az anyag monoton terheléssel meghatározott alakítási szilárdsága és a ciklikus alakváltozásnál lévő alakítási szilárdság között számottevő a különbség. Ezért az ilyen folyamatok modellezésénél a Bauschinger-effektus hatását nem lehet elhanyagolni.



8. ábra A  $\beta$  paraméter változása a halmozott képlékeny alakváltozás függvényében AlMg<sub>3</sub> és C10 anyagra  $\bar{\epsilon} = 0,05$  és  $\bar{\epsilon} = 0,1$  alakváltozás-amplitudónál

A Bauschinger-effektus kimutatása érdekében kisciklusú húzó-nyomó terheléssel meghatároztuk az AlMg<sub>3</sub> és a C10 anyagok ciklikus folyásgörbéit. Kiszámítottuk az alakítási szilárdság és a halmozott képlékeny alakvál-

tozás függvénykapcsolatot mind statikus, mind ciklikus terhelés esetére.

A ciklikusan változó alakítási szilárdság mellett bevezettük az egyenértékű alakítási szilárdság fogalmát, amely a statikus és a ciklikus terhelési görbékből származtatható. Méréseinkből megállapítható, hogy a ciklikus alakítási folyamatoknál a Bauschinger-effektus hatását nem lehet elhanyagolni.

Irodalom

[1] Weidemann, G.: The blankholding action of draw beads Sheet Metal Industries Sept. 1978, 948-989  
 [2] Weideman, G.: The blankholding Action of Draw Beads, Proceedings of the 10th Biennial Congress of IDDRG Warwick 1978, 78-86  
 [3] Yellup, J.M.: Modelling of Sheet Metal Flow Through a Drawbead, Proceedings of the 13th Biennial Congress of IDDRG Melbourne 1984, 166-177  
 [4] Nine, H.D.: Drawbead Proces in Sheet Metal Forming, Mechanics of Sheet Metal Forming, Plenum Press, New-York-London 1978, 179-207  
 [5] Sunaga, H., Makinouchi A.: Elastic-Plastic Finite Element Simulation of Sheet Metal Bending Process for Autobody Panels, Advanced Technology of Plasticity 1990 Proceedings of the Third International Conference on Technology of Plasticity Kyoto July 1-6. 1990, 1525-1530  
 [6] Brekelmans, W.A.M., Hoogenboom, S.M.: Stationary Sheet Bending and Straightening, Ad-

vanced Technology of Plasticity Stuttgart 1987, Vol.1., 171-176  
 [7] Krisch, A., Gramberg, U.: Über die Entstehung eines Bauschinger-effektes bei plastischer Beugung, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 43 (1972) 10., 753-755  
 [8] Krisch, A., Gramberg, U.: Spannungen und Formänderungen bei der plastischen Beugung von Stäben mit Rechteckquerschnitt, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 43 (1972) 9., 667-674  
 [9] Bogatov, A.A., Mizsirikij O.I., Szmirnov, Sz.V.: Reszupsz plaszticsnosztyi metallov pri obrabotke davleniem, Moszkva, Metallurgija, 1984  
 [10] Christ, H.J.: Wechselverformung von Metallen, Springer-Verlag, 1991, 37-48, 83-91.  
 [11] Stüwe, H.P.58.: Einfluss von Wechseln der Beanspruchung auf die Fließspannung von Metallen. Grundlagen der Umformtechnik - Stand und Entwicklungstrends, Springer - Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo 1983, Teil I, 189-199  
 [12] Ziaja, GY., Szabadits, O.: A húzóborda-reakció számítása és szerepe a lemezalakítási folyamatok szabályozásában, Gépjártástechnológia XXX.8. szám 1990. augusztus 352., 369-373.  
 [13] Lukács, J., Lovas, J.: Az MTS Testlink rendszerével vezérelt anyagvizsgálati mérések és azok kiértékelési módszerei, Anyagvizsgálók Lapja 1. évf. 1. szám, 1991, 3-5.  
 [14] Moszkvitjyn, V.V.; Plaszticsnoszty pri peremnyih nagruzsenyjah, Moszkva, Izd-Vo MGU, 1965  
 [15] Reé, A.: Fémek folyásgörbéinek matematikai vizsgálata, Egyetemi doktori értekezés, Budapest, BME 1971

923 089 065-066-013

# Nemesített acélok és gömbgrafitos öntöttvas kopási és pittingképződési hajlamának vizsgálata

dr. Kabai Imre – dr. Seres László

Az egyik fogaskerékpárokat előállító vállalat felkérésére nemesített acélok károsodási tulajdonságainak vizsgálata vált esedékessé. A gömbgrafitos öntöttvas mint potenciális fogaskerékanyag jött szóba. Az összehasonlító vizsgálatokat kiterjesztettük egyfajta betétben edzhető anyagra is betétedzés nélküli állapotban.

A szobajöhető károsodási módok értékelésével kijelölhető volt a vizsgálatok iránya. Ennek megfelelően elkészítettük a vizsgálati programot, megterveztuk és elkészítettük a próbatesteket és a tanszéki laboratóriumban elvégeztük a vizsgálatokat, amelyeknek eredményei alapján az anyagok összehasonlító értékelése lehetővé vált.

## Vizsgált anyagminőségek

A vizsgált anyagfélések, a felhasználás gyakoriságát, a minőség követelményeit, továbbá a gazdaságosság és a változtatás lehetőségét is figyelembe véve C60, CMo3, BC3 és Göv600 voltak.

Az öntöttvas hőkezelés nélkül, az acélok nemesített állapotban, a BC3 pedig szénítés nélkül került vizsgálatra. Az anyagok minősége megfelelt a szabvány vonatkozó előírásainak.

## A károsodás jellemzői

Acélból készült fogaskerekek károsodása alapvetően két csoportra osztható. Ezek a fogtörés és a fogfelületi sérülések. Az előbbi főként az igen nagy fogfelületi teherbírást, betétedzett fogaskerekek esetén mértékadó, az utóbbi rendszerint a nemesített fogaskerekek teherbírását határoolja be.

Fogfelületi károsodások közé tartoznak a kopás, a gördösödés (pitting), a karcok és a berágódás, a repedések és az egyéb fogfelületi sérülések. Az adott esetben, a nemesített anyagokra tekintettel, a kopás és a pittingképződési hajlam képezte a vizsgálat tárgyát.

A mérsékelt fordulatszám-tartományban ugyanis elasztohidrodinamikusan kenésre már lehet számítani, de a gyorsfordulatú hajtásokban mértékadó hővillám még nem jelent komolyabb veszélyt.

A fogfelületek kopása mértékadó lehet nyitott rendszerű fogaskerék-hajtások esetében, ahol a szennyeződések a kopási veszélyt növelhetik. Előfordulhat azonban zárt rendszerű, mérsékelt terhelésű és kerületi sebességű hajtóművek esetében is. A kopási hajlam abszolút értékének vizsgálata problematikus, így itt elsősorban az összehasonlító vizsgálati jelleg került előtérbe.

A gördösödési (pittingképződési) hajlam és ennek vizsgálata fogaskerékanyagok esetében alapvető jelentőséggel bír. A károsodás lényege, a jelenlegi ismeretek szerint, a kopvetkezőkben fogalmazható össze:

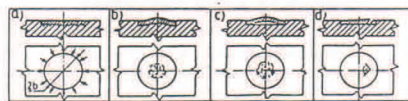
A gördülő és az ezzel egyidejűleg fellépő csekély mértékű csúszósúrlódás esetén a felületi réteg tönkremenetele a kis térfogatokban végbemenő anyagfáradás és az ezzel párhuzamosan fellépő tribokémiai (elsősorban oxidációs kopás) következménye.

Fogfelületek ismétlődő legördülésekor a váltakozó terhelés hatására a reverzibilis és irreverzibilis diszlokációs mozgások következtében létrejövő rugalmas deformáció mellett az anyag képlékeny alakváltozást is szenved. Az ismétlődő hidegalakításnak kitett felületi



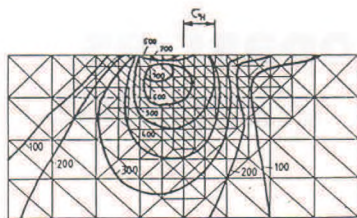
réteg mozgását megakadályozzák a vele kapcsolódó anyagrészek. Az egyenlőtlen alakváltozás okozta felkeményedés következtében a felületi rétegben a terhelések ismétlődésével növekvő nyomófeszültségek maradnak vissza, amelyeket a kapcsolódó anyagrészekben ébredő húzófeszültségek ellensúlyoznak.

A terhelés kezdeti stádiumában az igénybevett felüleletemet modellező vékony réteg, rugalmas féltérrel körülvéve, oldalirányból radiális nyomásnak van kitéve, alsó felén pedig normál és csúsztató feszültségek terhelik (1/a. ábra). A tönkremenetel kezdetét a felületi réteg stabilizálásának felbomlása jelzi, (1/b.



1. ábra Vázlat a pittingképződés mechanizmusának értelmezéséhez

ábra), amikor is a sima felületen a kritikus nyomófeszültségek hatására kiemelkedés képződik. További terhelések, valamint az anyag belső hibái, egyenlőtlen tulajdonságai belső repedést, (1/c. ábra), idéznek elő. A pikkely leválását a felületek közelében keletkező, a működő felülettel párhuzamosan kialakuló, és a terhelés vándorlásának irányában terjedő repedések okozzák, (1/d. ábra). Ezeknek a repedéseknek a megjelenési mélysége a gördüléskor fellépő maximális csúsztató feszültségek elhelyezkedésével van kapcsolatban. (2. ábra).

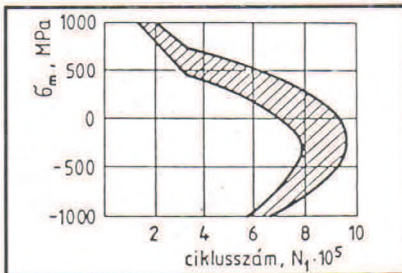


2. ábra Nyírófeszültségek eloszlása a felszín alatt, hengerek felületek érintkezésekor, a felületre merőleges és érintő irányú terhelés együttes fellépése esetén ( $\sigma_H = 10^3$  MPa,  $F_T/F_N = 0,3$ )

A pittingképződés kialakulásában a terhelt felület keménységén kívül meghatározó szerepe van a felületen a befejező megmunkálás során létrejövő mikrorepedéseknek és egy meghatározott vastagságú felületi réteg maradó feszültségi állapotának is.

Az irodalomban közölt vizsgálatok megalapították, hogy a felület fáradásos kopását kiváltó terhelések ciklusszáma akkor a legnagyobb, ha a felületi rétegben viszonylag kis mértékű nyomófeszültségek visszamaradnak, (3. ábra).

A működő felület mikrorepedései és a kenőanyag kölcsönhatása eredményeként, a fellépő adszorpciós effektus és a mikrorepedésekben kialakuló kapilláris nyomások hatására jelentősen csökken az acél kifáradási határa.



3. ábra A felületi réteg maradó feszültségének hatása a pittingképződésre

## Vizsgálati módszerek

Az elempárok anyagait és azok kialakítását, a méréseink során alkalmazott terheléseket, a csúsztató sebességet, a kenőolajat – úgy határoztuk meg, hogy a négyféle fogaskerékanyag vizsgálatok értékelhető súrlódási, kopási és pittingképződési részeredmények adjójanak.

Méréseink során az volt a célunk, hogy azonos körülmények között anyagféleségként és anyagpárokként értékelhető választ kapjunk a kopási, és a pittingképződési hajlamra, a súrlódási tényezőkre és a súrlódási összmunckára, valamint a felületi minőség megváltozásának mértékére.

A vizsgálatokhoz AMSLER A135 súrlódási és kopásvizsgálógép állt rendelkezésünkre.

Tárcsaméretek:

- a kopásvizsgálathoz:  $\varnothing 50$  és  $\varnothing 35$  mm, szélesség 10 mm,
- a pittingvizsgálathoz:  $\varnothing 40$  mm, szélesség 10 mm és 4 mm.

Vizsgálati paraméterek

- a kopásvizsgálatnál:

terhelés 490 N  
Hertz-feszültség 413,01 MPa  
csúsztató sebesség 0,505 m/s  
kopási úthossz  $15,7 \cdot 10^3$  m,

- a pittingvizsgálatnál:

terhelési lépcsők 1472, 1668, 1864, 1962 és 2158 N  
gördülésssebesség 0,732 m/s  
csúsztatósebesség 0,076 m/s  
Kenőolaj: AGIP ROTRA MP SAE 80 W-90 GL5

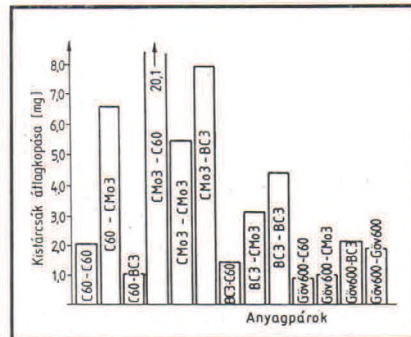
## A vizsgálatok terjedelme és eredményei

A kopásvizsgálatok során valamennyi esetben 3–3 párhuzamos mérést végeztünk az eredmények matematikai feldolgozásával. A pittingvizsgálatok során tág határok között változtattuk a paramétereiket a minél szélesebb tartományok átfedése érdekében, párhuzamos méréseket főként a BC3-BC3 párosításban végeztünk.

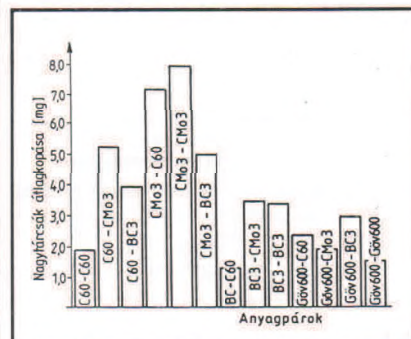
A kopásvizsgálat során a tárcsakopásokon kívül mértük a súrlódási nyomatékokat és meghatároztuk a súrlódási tényezőt, valamint a súrlódási összmunckát. Az eredményeket a 4-8. ábrákban foglaltuk össze.

Kopásvizsgálat közben a súrlódási nyomaték nem ingadozott és a kezdeti értékről folyamatosan csökkent. A súrlódási összmuncka a teljes folyamat eredménye, így a súrlódási viszonyokra jellemző érték. A korongok felületi átlagos érdessége a vizsgálat kezdetén 0,11-

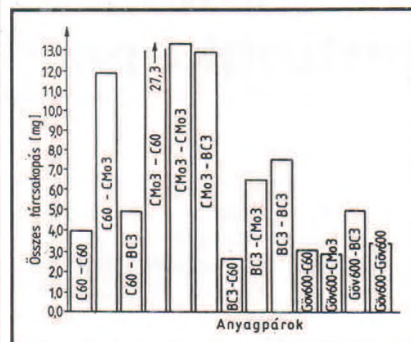
2,36  $\mu\text{m}$  tartományban voltak és a kopásvizsgálat közben folyamatosan csökkentek. Így az azonos paraméterekkel végzett vizsgálatok eredményeinek szórása elfogadható értékű volt.



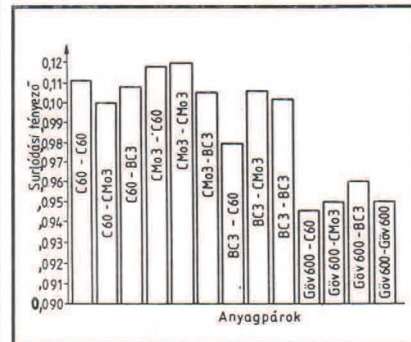
4. ábra Kistárcsák kopásának alakulása az anyagpárok függvényében



5. ábra Nagy tárcsák kopásának alakulása az anyagpárok függvényében

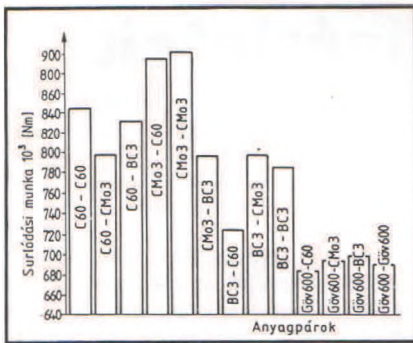


6. ábra Összes tárcsakopások alakulása az anyagpárok függvényében



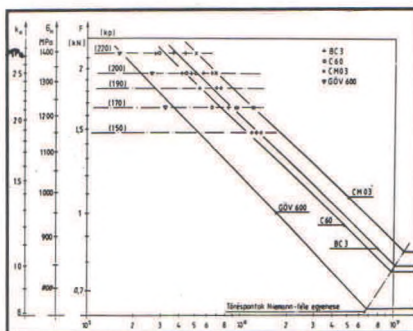
7. ábra Súrlódási tényezők alakulása az anyagpárok függvényében





8. ábra Súrlódási munkák alakulása az anyagpárok függvényében

A pittingképződés vizsgálati eredményeit az 1. táblázatban foglaltuk össze és anyagfeleségeként kifáradási diagramban is ábráztuk, 9. ábra. A súrlódási nyomaték a vizsgálat folyamán monoton csökkent. A belőle számított súrlódási tényezők értékei 0,07-0,09 tartományban adódtak aránylag jó egyezéssel. A párhuzamos vizsgálatok eredményeinek szórása is viszonylag kedvező volt.



9. ábra Pittingvizsgálati eredmények alapján szerkesztett kifáradási diagramok

**Megállapítások**

**A kopásvizsgálat értékelése**

Az eredmények alapján az egyes anyagfeleségekről és párosításokról a következők állapíthatók meg:

- a kistárcsa-kopások legkedvezőbb értékei a Göv 600-C60 párosításban 0,90 mg, C60-BC3 párosításban 1,03 mg, GÖV 600-CMo3 párosításban 1,10 mg, és BC3-C60 párosításban 1,40 mg értékűre adódtak,
- a nagytárcsa-kopások közül figyelemremélően kedvező eredményeket mértünk, ezek a BC3-C60 párosításban 1,27 mg, Göv 600-Göv 600 párosításban 1,53 mg, és a C60-C60 párosításban 1,83 mg,
- az összkopásértékeket tekintve a vizsgált anyagpárok közül kiemelhető a BC3-C60 párosításban a 2,67 mg, a Göv 600-Cmo3 párosításban a 3,00 mg és a Göv 600-C60 párosításban a 3,20 mg kopásértékek,
- kistárcsa-kopások közül a legkedvezőtlenebb értékek a CMo3 anyagminőség esetén adódtak,
- a legnagyobb nagytárcsa-kopás a CMo3-CMo3 anyagpárok vizsgálatakor mértük, ez 7,9 mg volt,
- összkopás tekintetében a CMo3-C60 anyagpárok eredményei a legkedvezőtlenebbek: 27,33 mg,

- a súrlódási tényező tartománya - a vizsgált anyagpároktól függően - viszonylag keskeny:  $\mu = 0,0945...0,119$ .

A súrlódási tényezők számszerű értékei egyértelműen a vegyes súrlódási viszonyokra utalnak.

**A pittingvizsgálat értékelése**

A pittingvizsgálatok eredményei alapján az egyes anyagfeleségekre a következők állapíthatók meg:

- a legnagyobb élettartamok a CMo3-CMo3 párosításban adódtak, ezután sorrendben a BC3-BC3, majd a C60-C60 párosítás következnek,
- a legkisebb élettartamok a Göv 600-Göv 600 párosításban mutatkoztak; megjegyzendő azonban, hogy a szobanforgó gömbgrafiton öntöttvas fogfelületi teherbírása hőkezeléssel számottevően javítható;
- a vegyes párosítások eredményei, a várakozásnak megfelelően, az egyes anyagpárok eredményei között helyezkednek el.

A pittingvizsgálati eredményekkel kapcsolatban megjegyezzük még a következőket:

1. táblázat Élettartam a pittingképződésig

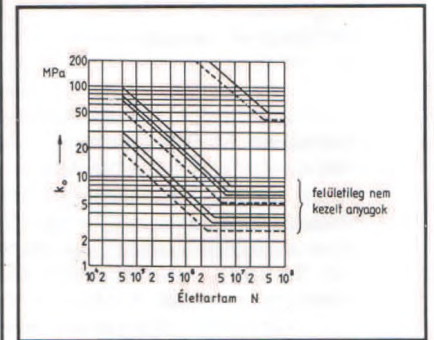
F, [N]	1472	1668	1864	1962	2158
$\sigma_H$ [MPa]	1148	1222	1292	1326	1391
$k_0$ [MPa]	18,4	20,8	23,3	24,5	27,0
Anyagpárok	fordulatok száma $\times 10^3$				
C60-C60	637		423	502	289
C60-CMo3			593		
C60-BC3			488		
C60-Göv			256		
CMo3-CMo3	1174		674	497	
CMo3-BC3			604		
CMo3-Göv			237		
BC3-BC3	1187	818	523	407	273
BC3-BC3	1244	930	698	469	356
BC3-BC3	1318	939	715	558	428
BC3-Göv			249		
Göv-Göv			316	261	158

F - terhelő erő,  $\sigma_H$  - Hertz-feszültség,  $k_0$  - palástnyomás

2. táblázat Kifáradási határ értékei

Anyagpárok	$k_0$ MPa	$\sigma_H$ MPa	F kN
CMo3-CMo3	10,42	892	0.834
BC3-BC3	9,81	838	0.785
C60-C60	9,54	827	0.764
Göv 600-Göv 600	8,03	759	0.643

A kifáradási diagram a kettős logaritmusos rendszerben egyenessel közelíthető, amelynek paramétereit, anyagpáronként, lineáris regresszióval határoztuk meg az összetartozó Stribeck-féle  $k_0$  palástnyomás, (Niemann-féle koncepció), és N élettartam adatok felhasználásával. A diagram függőleges tengelyén, amely a  $k_0$ -ra logaritmusos, a palástnyomáshoz rendelt skáláztuk a  $\sigma_H$  Hertz-feszültséget és az F sugárirányú normális erőt.



10. ábra Stribeck-féle palástnyomás kifáradási határértékei (Niemann-féle alapvizsgálatok)

A diagramba berajoltuk a palástnyomás töréspontjait összekötő Niemann-féle egyenest is, amelynek felhasználásával a kifáradási határértékek a Niemann-féle határfeltételek figyelembevételével megállapíthatók, (2. táblázat).

A kifáradási határértékek összehasonlítva a Niemann-féle kifáradási adatokkal és görbékkel (10. ábra) megállapítható, hogy ezek a nem felületkezelt anyagok kifáradási görbéit tartalmazó diagram-mező felső részén, esetenként e fölött helyezkednek el.

**Irodalom**

- [1] dr. Erney György: Fogaskerekek, Műszaki Könyvkiadó Bp. 1983.
- [2] Neale, M.J.: Tribology Handbook. London Butterworths. 1973.
- [3] Gesellschaft für Tribologie. Zahnradtriebeseinrichtung, Arbeitsblatt 2.4.4., 1980. okt.
- [4] Polzer, G., Wuttke, W.: Untersuchung zur Aufklärung von Verschleissmechanismen unter Bedingungen der Festkörperreibung. Symposium für Reibung, Schmiemung und Verschleiss. Berlin, 1980. nov. 18-20.
- [5] Vámos, E.: Tribológiai kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [6] Barmos, Gy.: Hazai hajtóműolajok kopásra gyakorolt hatásának vizsgálata modell berendezéssel. Doktori értekezés, 1984.

923 091 072-073