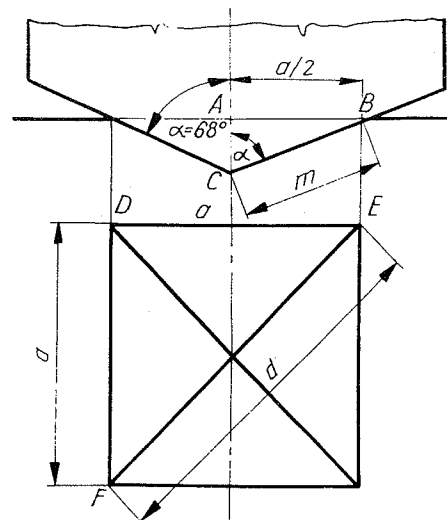




## 24.2. A Vickers-keménység mérése

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

A Vickers-keménységmérés kiküszöböli a Brinell-vizsgálat hibáit: 1. Szűrőszerszáma gyémántból készül és így a legkeményebb anyagok vizsgálatára alkalmas.



324. ábra. A Vickers-keménység mérés lenyomatának geometriai alakja

2. A szerszám és az alkalmazott terhelés oly kicsi, hogy alig észrevehető nyomat hagy és így a kész tárgyak károsodás nélkül vizsgálhatók. 3. Nem tör át a vékony kérget, tehát vékony nitrált vagy cementált felületek keménységének mérésére is — sőt erre egyedül — alkalmas mód. 4. A lenyomat felülete arányos az erővel és így az alkalmazott terhelés nem, helyesebben alig befolyásolja a mért keménységi értéket. A 10—30 kp között különböző terheléssel mért Vickers-keménységek (HV) tehát egymás között összehasonlíthatók.

A Brinell-keménység (HB) és Vickers-keménység (HV) értéke azonos anyagokra 400 kp/mm<sup>2</sup> keménységig kb. egyenlők. Ezen felül a HB kisebb értékeket ad. HV = 1200 kp/mm<sup>2</sup>-es anyagnál a HB = 800 kp/mm<sup>2</sup>, mert a golyó belapul.

A HV keménységmérést 136°-os csúcshögű négyzet alapú gyémántgúlának F erővel a tárgy felületébe való benyomása útján végzik úgy, hogy a közel négyzetes lenyomat két átlóját mérik és azok középértékéből (*d*) számítják a lenyomat felületét (324. ábra).

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{1,854F}{d^2} \quad \text{kp/mm}^2. \quad (77)$$

$$A = 4 \frac{am}{2}; \quad ABC\text{-ből} \quad \frac{a}{2m} = \sin \alpha,$$

$$A = 4 \frac{am}{2} = \frac{4a}{2} \cdot \frac{a}{2 \sin 68^\circ} = \frac{a^2}{\sin 68^\circ} = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}$$

$$A = \frac{d^2}{1,854}$$

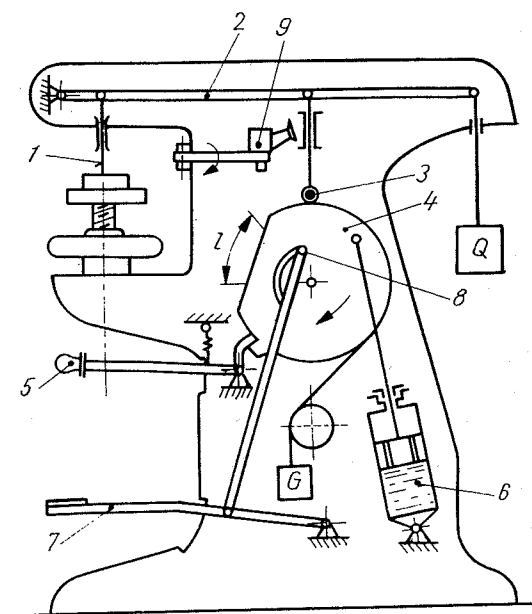
A gyakorlatban azonban nem számolnak, hanem táblázatból veszik ki a „*d*”-hez tartozó HV-t.

A 10 kp-nál nagyobb erővel mért HV gyakorlatilag független a terheléstől, mégis szabvány szerint a vizsgálatot 10, vagy 30 kp erővel végzik és a terhelő erő nagyságát megadják: HV 10, vagy HV 30. Szükség szerint a terhelést 0,5—120 kp között úgy kell megválasztani, hogy a vizsgálandó réteg vastagsága legalább a tízszerese legyen a benyomódás mélységének. A benyomódás mélységét a

$$h = 1,945 \frac{F}{HV} \quad (78)$$

képlettel lehet ellenőrizni. A Vickers-keménységmérő gép (325. ábra) a fokozatos terhelést, annak időtartamát és fokozatos megszüntetését önműködően végzi.

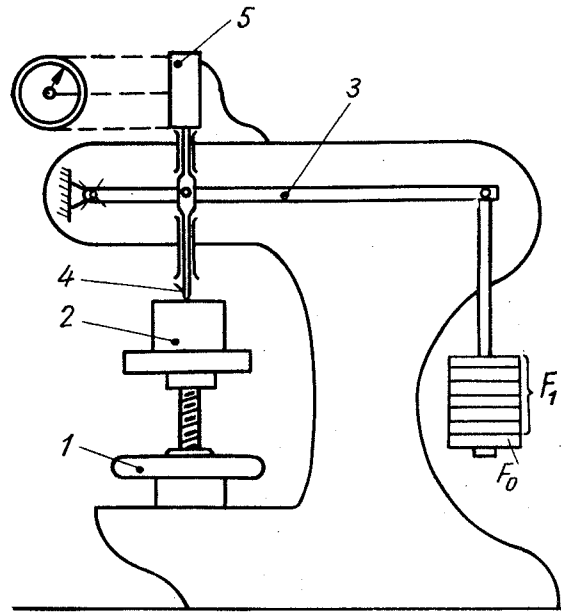
A mérendő darabot a gép asztalára helyezve, pontosan érintkezésbe hozzák a gyémántcsúccsal (1). Ezután az 5 kar lenyomásával kireteszelik a 4 alakos tárcsát, mely a zsinórral ráfüggesztett G súly hatására a nyíl irányában elfordul és a kerületébe bemunkált l pálya mentén legördülő 3 görgős támasz a kétkarú emelő lesüllyedését és ezzel a gyémántcsúcsnak Q súllyal való terhelését lehetővé teszi. A 4 tárcsa forgatását a olajkatarakt fékezi. Ez lényegében egy hengerben mozgó széles dugattyú, melynek szűk furatain mozgás közben az olaj átáramlik. A furatátmérők úgy vannak megválasztva, hogy a tárcsa elforgása, illetve a terhelés 15 vagy 30 s-ig tartson. A 4 tárcsa köríves kivágása forgás közben a 7-es lábító vonórúdja végén helyben maradó 8 görgős csap mellett úgy elfordul, hogy a görgős csap a tárcsa kivágása alsó végével kerül érintkezésbe. Újabb vizsgálat előtt a 7-es lábítóra lépve a 4 tárcsát visszaforgatják és így a gépet ismét működőképes helyzetbe hozzák. A lenyomatátlót a lenyomat fölé hajtható 9 mérőmikroszkóppal 0,01 mm pontossággal mérik.



325. ábra. A Vickers-keménységmérő vázlata

## 24.3. A Rockwell-keménység mérése

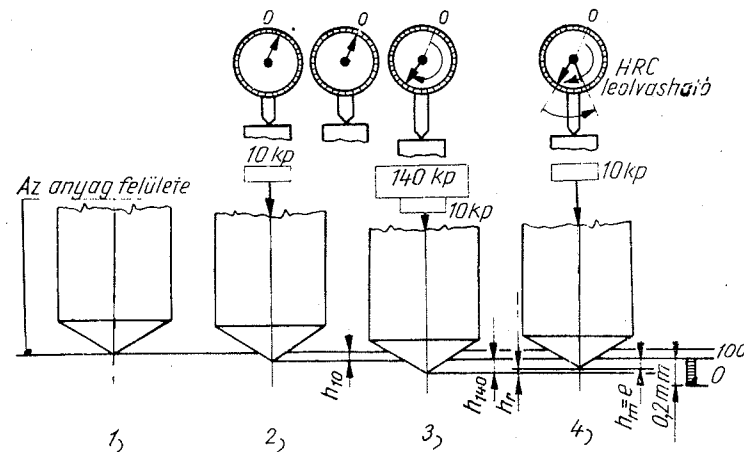
A Vickers-keménységmérésnek sok előnye mellett egy hátránya az, hogy nem eléggé gyors a gyártási sorozatba iktatott tömeges keménységmérésre. Erre a célra a Rockwell-keménységmérést dolgozták ki, melynek szűrőszerszáma 120°-os csúcs-



326. ábra. A Rockwell-keménységmérő vázlata

csúcshögű gyémántkúpot nyomnak az alább részletezett módon két fokozatban a próbadarab sima és sík felületébe és a második fokozat maradó benyomódásával mérik a HRC számot. A mérés menetét a 326. és 327. ábrák mutatják.

A Rockwell-keménységmérő (326. ábra) asztalra helyezhető készülék. Az 1 kézi-kerékkel függőleges irányban beállítható asztalkára helyezik a 2 vizsgálandó tárgyat, melyre a 3 egykarú emelő rövidebb karjára csuklósan felerősített 4 szűrőszerszám támaszkodik. A hosszabb kar végére akasztott rúdra teszik egymás után az  $F_0$



327. ábra. A Rockwell-keménység mérésének menete

szögre köszörült gyémántkúp, vagy 1,59 mm  $\varnothing$  golyó, a mérőszámát pedig a szűrőszerszám bemélyedését mutató mérőórán közvetlenül olvashatják le.

A Rockwell-szám jellege tehát merőben eltérő a Brinell- és Vickers-keménység számokétól, úgy, hogy közvetlen átszámítás nem lehetséges, hanem csak tapasztalati adatok alapján készített táblázattal lehet a Rockwell-értékeknek megfelelő Brinell- és Vickers-értékeket megadni. A szűrőszerszám alakja szerint kétféle Rockwell-keménységmérő számot használnak: HRC, illetve HRA és HRB.

A HRC és HRA keménység megállapítása céljából  $120^\circ$ -os

előterhelést (I fokozat), majd az  $F_1$  főterhelést és az utóbbi eltávolítása után 3 mérőórán, melynek tapintó szára a szűrőszerszám toldatára támaszkodik, leolvassák a főterhelés okozta maradó benyomódás mértékét ( $e$ ).

A mérés pontos menetét a 327. ábra mutatja. A mérő asztalkának függőleges beállítása útján a mérendő tárgy felületét a gyémántcsúccsal érintkezésbe hozzák, majd felrakják az  $F_0 = 10$  kp előterhelést, mire a gyémántcsúcs  $h_{10}$  mm mélyen benyomódik a tárgy felületébe. Ezt a benyomódást, mely arra hivatott, hogy a felületi egyenlőtlenségeket kiküszöbölje, nem mérik, tehát a mérőóra skálájának 0 pontját a  $h_{10}$  benyomódásnak megfelelő mutatóálláshoz fordítják. Felrakják az  $F_1 = 140$  kp főterhelést, mire a gyémántcsúcs  $h_{140}$  mm mélyen benyomódik és ezzel együtt az óra mutatója megfelelően elfordul. Amikor a mutató megáll, leveszik az  $F_1$  főterhelést, mire a csúcs a  $h_r$  rugalmas benyomódás mértékével megemelkedik és az óra mutatója annak arányában visszafordul. Ekkor leolvassák az órán a  $h_m = e$  mm maradandó benyomódás mértékét. Ezt a benyomódást Rockwell-egységekben:  $h_0 = 0,002$  mm fejezik ki, és az így kapott számot levonják 100-ból. Azért kell így kifejezni a HRC keménységet, hogy annak növekedésével növekvő értékeket kapjunk. Ha a benyomódást elfogadnánk közvetlenül mérőszámmak, a lágyabb anyagokat jellemeznék nagyobb számok, tehát nem a „keménységet”, hanem a „lágyságot” mérnék. Ezek szerint:

$$\text{HRC} = 100 - \frac{e \text{ mm}}{0,002} \quad (79)$$

Az abszolút kemény tárgyra  $e = 0$ , HRC = 100.

Az eutektoidos martensit keménysége:

$$(\text{HB} = 700-720 \text{ kp/mm}^2), \text{HV} = 950 \text{ kp/mm}^2, \text{HRC} = 66.$$

A HRC összerhelése:  $F = F_0 + F_1 = 150$  kp.

A keménységmérő órájának számlapját HRC egységekre hitelesítik.

Használják a HRA 62,5 vagy HRA 60 számot, melyeknek megállapítása a HRC-vel azonosan történik, csak a főterhelése:  $F_1 = 52,5$ , vagy 50 kp, összes terhelése pedig:  $F = F_0 + F_1 = 62,5$  vagy 60 kp.

A HRB mérésénél gyémántkúp helyett 1,59 mm (1/16 angol hüvelyk) átmérőjű golyót használnak. A mérés menete ugyanaz, mint a HRC-nél, csak az  $F_1 = 90$  kp, tehát az összerhelés:  $F = F_0 + F_1 = 10 + 90 = 100$  kp és a mérőszám kiszámításánál a Rockwell-egységekben ( $h_0 = 0,002$  mm) kifejezett „e” benyomódást nem 100-ból, hanem 130-ból vonják le:

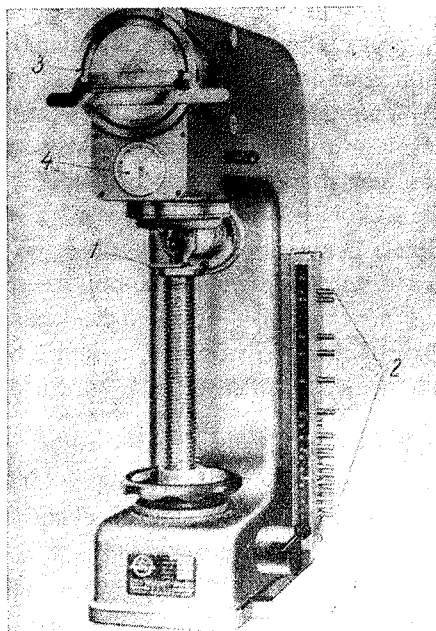
$$\text{HRB} = 130 - \frac{e \text{ mm}}{0,002} \quad (80)$$

Az abszolút kemény anyagra HRB = 130. A HRB mérést a HB 10/3000/30 = 100–300 kp/mm<sup>2</sup> keménységű anyagok mérésére, tehát pl. a lágy és szívós acélok keménységmérésére használják:

$$\begin{aligned} \text{HB} = 100\text{-as anyagnak} & \quad \text{HRB} = 56,6, \\ \text{HB} = 300\text{-as anyagnak} & \quad \text{HRB} = 109 \text{ Rockwell-szám} \end{aligned}$$

felel meg.  $HB = 300 \text{ kp/mm}^2$ -nél keményebb anyagot csak HRC keménységgel lehet mérni.

A HRA 60-as mérés határai  $HV = 100\text{--}1000 \text{ kp/mm}^2$ , ennél tehát a gyakorlatban előforduló egész keménységskála mérhető. Finomabb vizsgálatokra alkalmaz-  
zák az ún. „szuper Rockwell” keménységmérést, mely a HRC-vel azonos, de elő-



328. ábra. Egyetemes szűrőkeménység-mérő műszer. 1. Tárgy befogása, 2. Terhelések nyomógombjai, 3. Brinell- és Vickers-lenyomatok mérése, 4. Rockwell-keménység számok leolvasása

terhelése  $F_0 = 3 \text{ kp}$ , Rockwell-egysége  $h_0 = 0,001 \text{ mm}$ .

A Vickers- és a Rockwell-keménység mérését a 328. ábrán látható egyetemes szűrőkeménység-mérőgépen végzik. Ezen a gépen a terhelések 1—250 kp-ig a szabványos lépcsőkben gombnyomásra beállíthatók. A Brinell- és Vickers-lenyomatok átlóit a homályos üvegre kivetítve mérik. A Rockwell-mérésre külön mérőóra szolgál.

#### 24.4. Mikrokeménység-mérés

A 10 kp-nál nagyobb terheléssel mért Vickers-keménység azonos anyagnál a terheléstől függetlenül közel azonos. Az ilyen viszonylag nagy súly hatására az anyagba behatoló  $136^\circ$ -os csúcshögű gyémántgúla olyan arányos lenyomatokat készít, amelyek sok krisztallit és több fázis (pl. perlit) átlagos keménységét jellemzi. Ezt a keménységet *makrokeménység*nek hívják.

A metallográfiában az egyes mikroszkópi szövetelemek felismerésére jó segítséget ad azok keménysége. Mikroszövetek keménységét mérhetjük a  $136^\circ$ -os csúcshögű gyémántgúlával úgy, hogy a terhelést a szövetelem fajtája szerint 5—100 p között, tehát a HV mérésnél használt terhelés ezredrészére választjuk. Az így kapott keménység-értéket *mikrokeménység*nek hívják és megkülönböztetésül  $HV_{mx}$ -szel jelöljük, ahol  $x$  a terhelés nagysága p-ban.

A mikrokeménység mérésénél az erőt pondban, a lenyomat átlóját mikronban mérik. Összehasonlíthatóság céljából  $\text{kp/mm}^2$ -re átszámítva a Vickers-keménység

(77) sz. képlete így módosul

$$HV_m = 1,8544 \frac{F10^{-3}}{d^2(10^{-3})^2} = 1854,4 \frac{F}{d^2} \text{ kp/mm}^2. \quad (81)$$

A makrokeménység-értékek a terheléstől független anyagjellemzők. Ezekre érvényes a Kick-féle hasonlósági törvény:

$$F = ad^2, \quad (82)$$

ahol  $a$  az anyagtól és a szűrőszerszám alakjától függő állandó.

A mikrokeménység mérésénél a kisebb terhelés nagyobb keménységet ad ugyanazon szövetelemnél. A mikrokeménység a terheléstől függő anyagjellemző.

Itt a Kick-féle arányossági törvény helyébe a Mayer-féle hatványtörvény lép:

$$F = ad^n, \quad (83)$$

ahol  $n$  az ún. Mayer-hatványkitevő csak az anyagtól függ. A (83)-at a (81)-be helyettesítve

$$HV_m = 1854,4 \frac{ad^n}{d^2} = 1854,4ad^{n-2} \text{ kp/mm}^2. \quad (84)$$

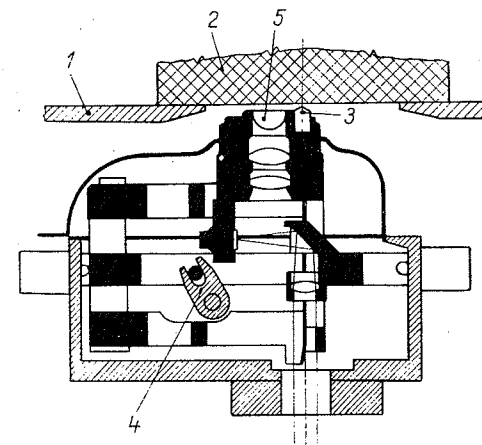
Az  $n$  a legtöbb esetben kisebb 2-nél, és ilyenkor kisebb lenyomatok nagyobb keménységértékeket adnak. A szövetelemek keménysége és az  $n$  kitevő között valószínű összefüggés van: a legkeményebb anyagoknak a legkisebb  $n$  kitevőjük van. Így a W—Cr—V komplex karbidnál  $n = 1,16$ , az ólomé 1,97.

Az elmondottakból következik, hogy az azonos szűrőszerszámmal mért mikrokeménység-értékek csak azonos terhelésnél hasonlíthatók össze.

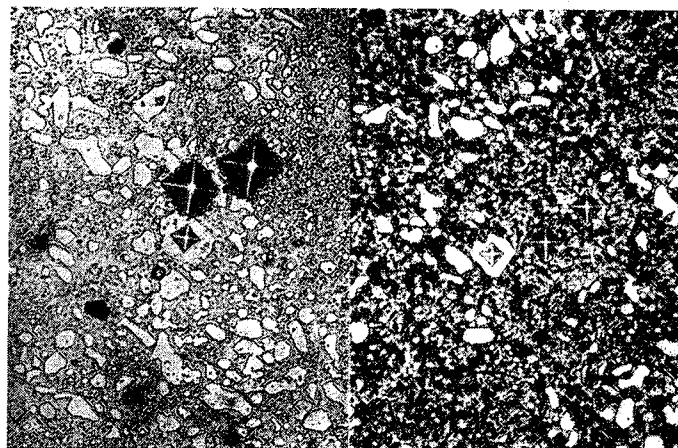
A mikrokeménységet vagy külön műszerrel, vagy a mikroszkóp objektíve helyébe csúsztatható szűrőszerszám nyomának a mérőokulár skálájával történő összehasonlításával mérik. Ilyen mikroszkópra szerelhető mikrokeménység-mérőt mutat a 329. ábra.

A mikrokeménység-mérő műszer tárgyasztalára rögzített csiszolatot a terhelés után elfordítják az 500-szoros mérőmikroszkóp alá és ott mérik a lenyomat átlóját. A mikrokeménység értékét táblázatból veszik ki.

A 330. ábra a mikrokeménység jellegzetes lenyomatait mutatja. A lenyomatok azonosan 50 p terheléssel készültek. Nagyságuk jelzi a szövet keménységét. A K 1 króm szerszámacél alapanyagának keménysége edzett állapotban ( $1000 \text{ kp/mm}^2$ ) a lágyított állapotban mért keménység ( $300 \text{ kp/mm}^2$ ) háromszorosát meghaladja. A karbidok keménysége a hőkezelési állapottól függetlenül a legnagyobb:  $1500 \text{ kp/mm}^2$ .



329. ábra. Mikrokeménység mérésre berendezett mikroszkóp objektíve. 1. Tárgymutató asztal, 2. Csiszolat, 3.  $136^\circ$  csúcshögű gyémánt gúla, 4. A szűrőszerszám és mérőobjektív cseréjét végző átváltó, 5. Objektív lencse



a) b)

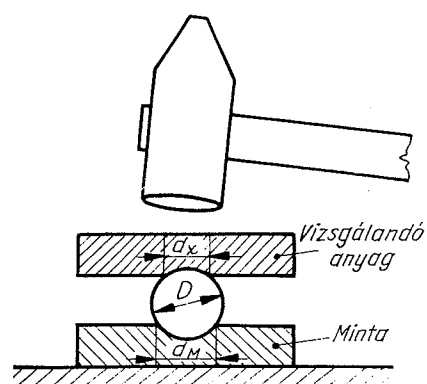
330. ábra. Mikrokeménységmérés lenyomatai K 1 króm szerszám-  
acélon. Fehér szemek:  $Cr_7C_3$  króm-karbid.  $HV_{m50}$  keménységek:

- a) lágy. áll. alap 300 kp/mm<sup>2</sup>, karbid 1500 kp/mm<sup>2</sup>  
b) edzett áll. alap 1000 kp/mm<sup>2</sup>, karbid 1500 kp/mm<sup>2</sup>  
3 % HNO<sub>3</sub>, 500 : 1

## 24.5. Dinamikus keménységmérések

Ezek csak a végrehajtás módjában dinamikusak, mert ütéssel végzik a vizsgálatot, de eredményük sztatikus anyagjellemző: keménység. Két eljárás van: a Poldi-féle, amely kalapáccsal mért ütő Brinell-keménységmérés, és a Shore-keménységmérés.

1. A Poldi-kalapáccsal való keménységmérés módját a 331. ábra szemlélteti. Lényegében összehasonlító Brinell-keménységmérés, amelyet  $HB < 400$  kp/mm<sup>2</sup> keménységű anyagok helyszíni keménységmérésére használnak. Úgy végzik, hogy egy ismert keménységű mintadarab (etalon) és a vizsgálandó tárgy közé szabványos



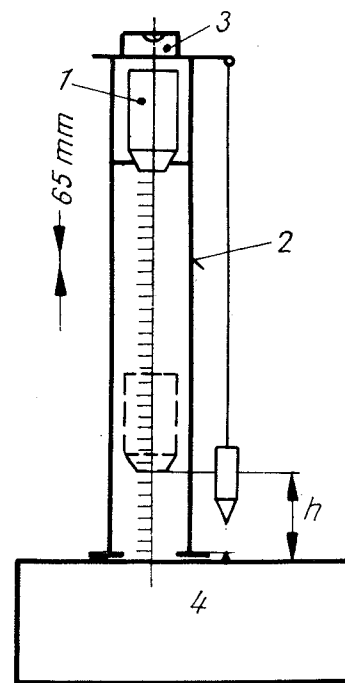
331. ábra. Brinell-keménység mérése Poldi-kalapáccsal

Brinell-golyót helyeznek és kalapáccsal a golyó középpontja irányában ütést mérnek közvetve a felső darabra. Majd megméri a lenyomat átmérőjét a vizsgálandó tárgyon:  $d_x$  és a mindarúdon:  $d_M$ . A mintadarab keménysége ismert  $HB_M$ . A vizsgált anyag keménysége

$$HB_x = HB_M \frac{d_M^2}{d_x^2} \quad (85)$$

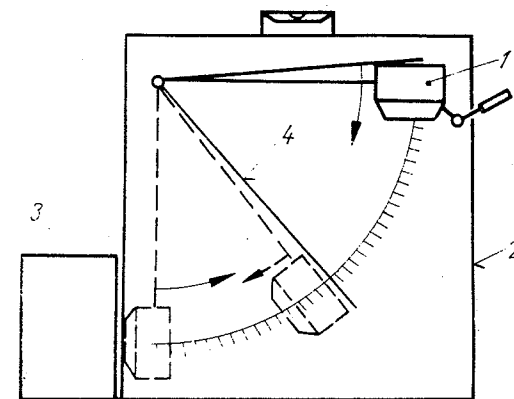
A keménységek ugyanis a lenyomat felületével fordítva arányosak, a felületek pedig a lenyomatátmérő négyzetével arányosak.

2. A Shore-keménység mérőszáma a vizsgálandó tárgy felületére egy bizonyos magasságból leejtett, edzett acél, néha gyémántvéggel ellátott acéltest rugalmas visszapattanásának magassága. A mérőeszköz neve: szkleroszkóp (332. ábra), melynek lényeges alkatrésze egy 6,37 mm  $\varnothing$  · 19,1 mm (1/4"  $\varnothing$  · 3/4") méretű acélhenger (1), mely egy üvegcső felső végében annak felfelé fordításakor reteszelődik.



332. ábra. Szkleroszkóp. 1. ejtsúly, 2. üvegcső, 3. libella, 4. mérendő tárgy

Az üvegcső oldalán 1,65 mm-es osztásvonalak vannak bemarotva. Vizsgálatkor a szkleroszkópot a tetejére szerelt libella (3) vagy függőőn segítségével lehetőleg pontosan függőlegesen állítják a mérendő tárgy (4) síklapjára és az acélhengert kireteszelik. A felületre eső súly visszapattanásának magasságát ( $h$ ) leolvassák, ez adja meg a Shore-keménységi számot.



333. ábra. Durométer. 1. mérőkalapács, 2. doboz, 3. tárgy, 4. mutató

Egy másik azonos elven felépített mérőeszköz a durométer (333 ábra), melynél egy kis acélkalapács (1) ingaként van felfüggesztve egy dobozban. A doboz oldal-lapjának alján levő nyíláshoz támasztják a vizsgálandó tárgyat. Vizsgálatnál a felső vízszintes helyzetéből kireteszelt kalapács a tárgy (3) függőleges lapjáról visszapattanva magával viszi és a visszapattanás helyén hagyja a magával vitt mutatót (4) úgy, hogy a keménységet jelző skálaosztás, a mutató állásáról könnyen leolvasható.

A két utóbbi mérési módnál a tárgy tömege, valamint a műszer beállítása nagyon befolyásolja a mérés eredményét, ezért a mérés pontatlan. Szokták a skálákat HB-re kísérletileg megállapított értékekkel jelölni. Ez alapvetően helytelen, mert a Brinell-keménységmérés csak 400 kp/mm<sup>2</sup> szűrőkeménységig használható kielégítő pontossággal, a szkleroszkóp és durométer pedig annál nagyobb keménységű anyagoknál használható.

A szkleroszkóp és durométer legfontosabb alkalmazási területe az edzés helyességének sorozatos ellenőrzése. Itt tehát nem anyagjellemző megállapításáról van szó, hanem csak annak tájékoztató ellenőrzéséről, hogy minden darab közel azonos keménységű-e. Az ilyen azonos alakú tárgyak befogásánál lehetséges olyan befogó készülék alkalmazása, mely gyors mérés mellett annak pontosságát is fokozza. Sorozatméréseknél a megkívánt keménység megengedett tűrésének alsó és felső határát jelölik a skálán. Megfelel a darab, ha a kalapács a két jel közé pattan.

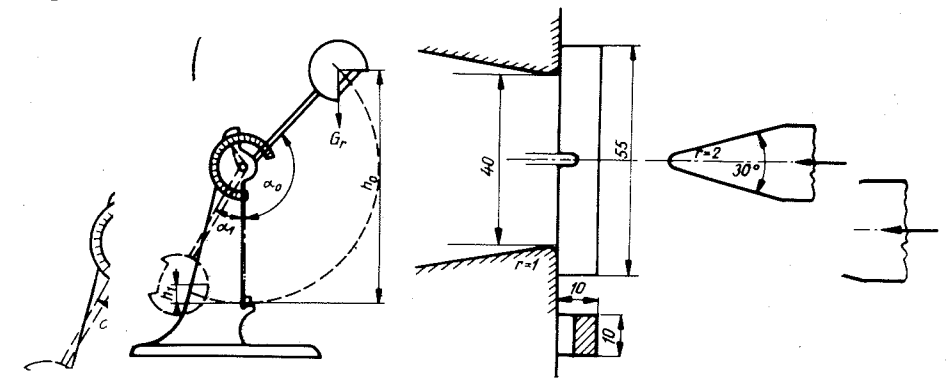
## 25. DINAMIKUS VIZSGÁLATOK

### 25.1. Ütő-hajlító vizsgálat

Az ütő-hajlító vizsgálat a szerkezeti anyagok szívósságának legszélesebb körben alkalmazott vizsgáló módszere. A vizsgálat abban áll, hogy egy ingás ütőmű (334 a) ábra) segítségével egyetlen ütéssel eltörnek egy hasáb alakú, bemetszett próbatestet (334 b) ábra).

nem ad méretezésnél közvetlenül felhasználható anyagjellemzőt, de rendkívül fontos jellemző számot ad az anyag szívósságára. A bemetszett próbatest ütővizsgálatához az ingás ütőművet használják (334a) ábra). Ilyen ütőműveket 10, 15, 30 és 75 mkp maximális törési munka kifejtésére alkalmas nagyságokban gyártanak.

A vizsgálati eljárás abban áll, hogy egy közepén bemetszett szabványos hasáb alakú próbatestet az ütőmű kosával egyetlen ütéssel eltörnek. A töréshez felhasznált



334. ábra. A fajlagos ütőmunka mérése. a) ütőmű, b) a próbatest elhelyezése

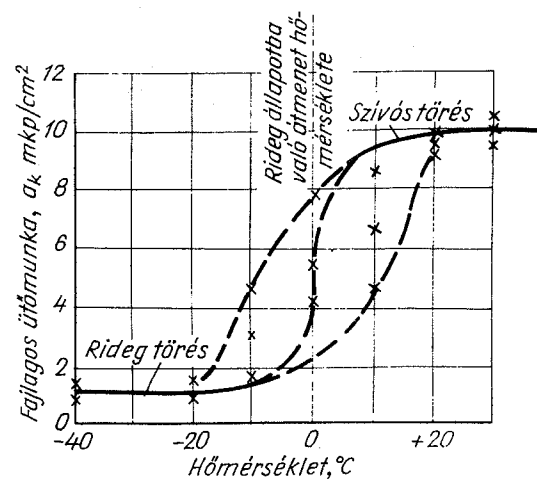
Az ütőmű  $G_r h_0$  törési munka kifejtésére képes. Az inga sebessége az ütés pillanatában  $\sqrt{2gh_0}$ . Általában 30 mkp energiájú, 5–7 m/s sebességű ütőműveket használnak. A próbatest törésére felhasznált munka  $[G_r(h_0 - h_1)]$  az ütőmű skáláján közvetlenül leolvasható.

A próbatest  $10 \times 10$  mm keresztmetszetű, 55 mm hosszúságú hasáb, szabványos alakú és méretű bemetszéssel. Amerikában korábban használatos volt a Charpy-U próbatest, mely 1 mm lekerekítési sugarú, 5 mm mély bemetszéssel készült. A Szovjetunióban a Mesnager próbatestet alkalmazzák, amely ugyancsak 1 mm lekerekítési sugarú, de 2 mm mély bemetszést tartalmaz. Közép-Európában az 1 mm lekerekítési sugarú és 3 mm mélységű bemetszéssel ellátott DVM próbatest terjedt el. Újabban ISO ajánlásra világszerte a Charpy-V próbatestre térnek át. Ez a próbatest 2 mm mély  $45^\circ$ -os bemetszéssel készül, a bemetszés lekerekítési sugara 0,25 mm. A Charpy-V próbatest előnye az összes többivel szemben az, hogy a vizsgálati eredmények szórása kisebb.

A törésre fordított munkát közvetlenül, vagy az eltört keresztmetszetre vonatkoztatva adják meg. Első esetben ütőmunkáról (dimenziója: mkp), második esetben fajlagos ütőmunkáról (dimenziója: mkp/cm<sup>2</sup>) beszélünk. Az ütőmunka és a fajlagos ütőmunka fizikai tartalmában nem tér el egymástól. Egymáshoz való viszonyuk azonos méretű próbatestek alkalmazása esetén a vizsgált anyagtól függetlenül állandó.

Nagyon befolyásolja viszont az ütőmunkát (illetve a fajlagos ütőmunkát) a bemetszés, hiszen a bemetszés határozza meg azokat a feszültségi és alakváltozási viszonyokat, amelyek között a törés végbemegy. Ennélfogva az ütőmunka mellett feltétlenül meg kell nevezni a próbatest típusát is, amellyel a vizsgálatot végezték. Magyarországon jelenleg a DVM (U-bemetszésű) és a Charpy-V (V-bemetszésű) próbatest szabványos (MSZ 105/16 lap). Az ütőmunka jele *KU* vagy *KV*, a fajlagos ütőmunka jele pedig *KCU* vagy *KCV*, attól függően, hogy U-bemetszésű vagy V-bemetszésű próbatestet alkalmaznak.

A ferrites és a szövetükben nagy mennyiségű ferritet tartalmazó acélok ütőmunkája a hőmérséklet mentén hirtelen változást mutat (335. ábra).



335. ábra. Lágyacél fajlagos ütőmunkájának változása a hőmérséklettel ( $a_k$  helyett *KCU* értendő)

Nagy hőmérsékleten szívósan, kis hőmérsékleten ridegen viselkedik az acél. A kétféle viselkedés határán jelölhető ki az átmeneti hőmérséklet, amely az acélszerkezetek anyagmegválasztásának fontos mérőszáma.

Az acélszerkezetek anyagmegválasztásának alapja az a megfigyelés, hogy a szerkezethez felhasznált némely acél szívósan vagy ridegen viselkedhet a környező hőmérséklettől függően, és a szerkezetre is kijelölhető egy hőmérséklet a kétféle viselkedés határán. Ez a hőmérséklet a szerkezet *megengedett minimális hőmérséklete*. A minimális üzemi hőmérséklet természetesen nem azonos az ütő-hajlító vizsgálat átmeneti hőmérsékletével, hiszen a feszültségi állapot és annak időbeni változása eltér a szerkezetben és az ütő-hajlító próbatestben. Ridegen eltört szerkezetek hőmérsékletének regisztrálásával és anyagának vizsgálatával azonban sikerült olyan tapasztalati összefüggést megállapítani, melynek segítségével az átmeneti hőmérséklet ismeretében becsülhető az acélszerkezetek megengedett minimális üzemi hőmérséklete.

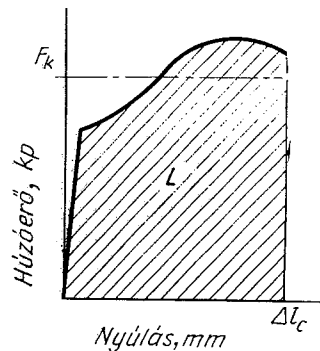
Az ütő-hajlító vizsgálatot a hőkezelés, megalakítás és egyéb kohászati technológiák eredményességének ellenőrzésére is felhasználják. Jól felhasználható szemcse-durvulással vagy kiválással járó elridegedés kimutatására.

## 25.2. Dinamikus szakítóvizsgálat

Lökésszerű igénybevétellel szemben való ellenállóképességet jellemez az ún. dinamikus szakítószilárdság:  $\sigma_{Bdin}$ , és a közepes dinamikus szilárdság:  $\sigma_{kdin}$ . Meghatározása a 334a ábrán látható ütőmű alkalmazásával történik úgy, hogy az ütőmű kosának hátlapjára menetes fejjel ellátott próbatestet becsavarozva, a másik fejre pedig az ütőmű támaszhelyein fennakadó tárcsát csavarva, az ütőkos átlendítésével a próbapálca elszakad. A kísérletnél lényeges az, hogy a próbatest keresztmetszetének megválasztása a minőség figyelembevételével úgy történjék, hogy az ütőmű törési munkája elegendő legyen az egy ütéssel való elszakításhoz. A korszerű ütőművek elektronikus diagramfelvevő berendezéssel rendelkeznek. A felvett diagram a törési erőt rajzolja fel a próbatest nyúlásának függvényében. A diagram legmagasabb pontjának ordinátája adja az  $F_{Bdin}$  (kp) értékét. A dinamikus szakítószilárdság:

$$\sigma_{Bdin} = \frac{F_{Bdin}}{A_0} \text{ kp/mm}^2. \quad (87)$$

A közepes dinamikus szilárdság meghatározására akkor kerül sor, ha nem áll rendelkezésre az említett diagramfelvevő berendezés. Ez a statikus szakítódiagram-



336. ábra. A közepes szakítószilárdság számítása

ból vezethető le. A szakítódiagram területe, amely gyakorlatilag planimetrálással megállapítható, a szakító próbatest fejrészei között levő hengeres darabjának alakváltozására fordított munka nagyságát adja meg.

A szakítódiagramot feltüntető 336. ábra szerint a diagram területe

$$L = \int_0^{\Delta l_c} F d\Delta l \text{ kpmm.} \quad (88)$$

A szakítás során változó húzóerő középértéke kiszámítható úgy, mint a diagram területét kiegyenlítő magasság:

$$F_k = \frac{L}{\Delta l_c}$$

A közepes szilárdság:

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A_0} = \frac{L}{A_0 \Delta l_c} = \frac{L}{A_0 (l_c - l_0)}$$

A nevezőt  $\frac{l_0}{l_0} = 1$ -gyel beszorozva

$$\sigma_k = \frac{L}{A_0 l_0 \frac{l_c - l_0}{l_0}} = \frac{L}{V \varepsilon_c} \text{ kp/mm}^2, \quad (89)$$

ahol  $V$  a próbapálca jeltávrá eső térfogata,  $\varepsilon_c$  pedig a jeltáv fajlagos nyúlása szakítás után.

A dinamikus szakítás vagy ütve szakítás kísérletével meghatározott közepes dinamikus szilárdság a fent levezetett közepes szilárdsághoz hasonlóan:

$$\sigma_{k\text{din}} = \frac{L}{V \varepsilon_c} = \frac{G_r (h_0 - h_1)}{V \varepsilon_c} \text{ kp/mm}^2, \quad (90)$$

ahol  $G_r$  az ütőmű kosának redukált súlya kp-ban;  $h_1$  és  $h_0$  a 334a) ábra szerinti magasságok mm-ben;  $V$  az ütve szakítással eltört próbatest hengeres részének térfogata mm<sup>3</sup>;  $\varepsilon_c$  fajlagos nyúlás abszolút számmal mérve külön szakítódiagramból meghatározva. Ezt a vizsgálati módszert páncélcsapok, horgonyláncok, vonóhorgok és hasonló rángatásnak kitett alkatrészek anyagának vizsgálatára használják.

Az alakítható anyagok sztatikus szakításnál mindig szívós, tehát növekvő feszültség alatt bekövetkező maradó alakváltozással kísért szakadás következik be. A szakítás sebességének fokozásával csökken a maradó alakváltozás kifejlődésére rendelkezésre álló idő. Szélső esetben a szakítás oly nagy sebességgel történik, hogy semmiféle elcsúszásra, maradó alakváltozásra nem marad idő. Ekkor az egyébként szívós és képlékeny anyag is ridegen törhet. Az ilyen szakítási sebességet kritikusnak nevezik.

26.1. A fémek kifáradásának jelensége ismételt igénybevételeknél

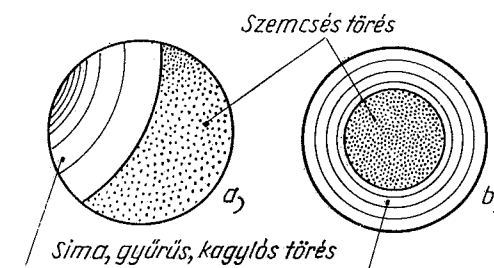
A szerkezeti alkatrész gyakran olyan változó nagyságú, sokszor ismétlődő igénybevételnek van kitéve, melynek felső határértéke a folyáshatárát, sőt az annál jóval kisebb megengedett igénybevételt sem éri el, és mégis az alkatrész egy bizonyos nagyszámú ismételt terhelés után eltörik. Ilyenkor azt mondják, hogy az anyag kifáradt. A fáradt törés jellege mindig teljesen más, mint a sztatikai igénybevétel során bekövetkezett törés. Szívós és képlékeny anyag fáradt törése is a rideg törésre emlékeztet.

Az ilyen jellegű törésekre a vasúti kocsitengelyek látszólag minden ok nélküli törése hívta fel a figyelmet. A sztatikai vizsgálattal meghatározott megengedett igénybevételre méretezett azonos anyagú és gyártású tengelyek közel azonos, mintegy 12 éves üzemidő elteltével egymásután törtek.

A 337a ábra olyan törést mutat, amely a felület egy pontja körül gyűrűsen tovaterjedő sima törésfelületet mutat koncentrikus gyűrűkkel, míg a tengelykeresztmetszet másik felén szemcsés a törés. A sima gyűrűs törésfelület egy felületi feszültségelhelyeződés helyéről kiinduló és a terhelés ismétlődése folytán szemcséket átszelve tovaterjedő, intrakristallin fáradt törés. Amikor az ilyen folyton mélyülő berepedés után a megmaradó keresztmetszet már nem bírja el a sztatikai igénybevételt, egyetlen ütéshatásra ridegen, szemcsehatárok mentén, interkristallin törnek.

A 337b ábra olyan fáradt törést mutat, melynél a feszültségelhelyeződés a tengely egész kerületén megvolt, pl. egy éles esztergakés-barázda mentén, és így az intrakristallin fáradt törés az egész kerületen egyidőben indult meg és terjedt a tengely közepe felé. A fáradt töréseket a fent leírt jellegzetességekről mindenkor könnyen és biztosan felismerhetjük.

A gyakorlati tapasztalat és az anyagvizsgálati kutatás eredménye szerint is sok nagyon fontos szerkezeti anyagnak



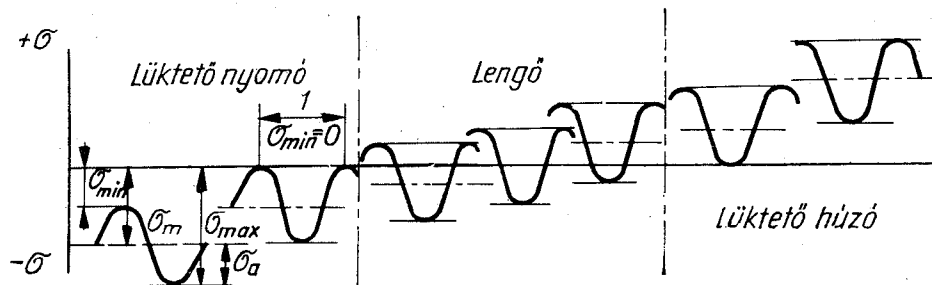
337. ábra. Tengelyek jellegzetes fáradt törése



van egy olyan határfeszültsége, amelyet a belőle készült szerkezeti alkatrész bármilyen nagyszámú terhelés ismétlésekor is törés nélkül elvisel. Ezt a határfeszültséget nevezik kifáradási határnak.

A *kifáradási határ* a folyási határnál mindig kisebb feszültség, amelynél valamivel nagyobb ismételt igénybevétel egy bizonyos ismétlési szám ( $N$ ) után törést okoz, amelynél kisebb feszültség hatására azonban a törés gyakorlatilag sohasem következik be.

Az ismételt igénybevételek lehetnek ismételt normális feszültségűek, amelyen a húzás és nyomás, vagy ismételt csúsztató feszültségűek. A normális feszültségű



338. ábra. Ismételt igénybevételek jellegzetes feszültségváltozásai

igénybevételek lehetnek ismételt tiszta húzó, tiszta nyomó, húzó-nyomó, hajlító és forgó-hajtogató igénybevételek. Változásuk időbeni lefolyása a sinusgörbéhez hasonlít.

Az ismételt igénybevételeknél előforduló fogalmak és elnevezései a 338. ábra szerint:

$\sigma_{max}$  ismétlődő legnagyobb húzó-, nyomó- vagy hajlítófeszültség,  $kp/mm^2$ ;

$\sigma_{min}$  ismétlődő legkisebb normális feszültség;

$\tau_{max}$  ismétlődő legnagyobb csavaró- vagy nyírófeszültség,  $kp/mm^2$ ;

$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$   $kp/mm^2$  ismétlődő közép-feszültség;

$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$   $kp/mm^2$  feszültséglengés a közép-feszültség körül (feszültség-amplitúdó);

$N$  a fárasztó kísérletnél törést okozó ismételt igénybevételek száma rendszerint  $10^6$  többszörösében;

$n$  a percenkénti igénybevételek száma;

$f$  a másodpercenkénti igénybevételek száma;

$\sigma_r = \sigma_m + \sigma_a$   $kp/mm^2$  kifáradási határ;

$\sigma_v$  lengőszilárdság,  $kp/mm^2$ . Jellemzője:  $\sigma_m = 0$ ,  $\sigma_v = \pm \sigma_a$ ;

$\sigma_r = +2\sigma_a$  vagy  $-2\sigma_a$ : lüktetőszilárdság. Jellemzője  $\sigma_m = \sigma_a$

A  $\sigma$  feszültségekre megadott jelölések értelemszerűen a  $\tau$  feszültségekre is érvényesek.

A *lengőszilárdság* az ismételt lengő igénybevételek határesetében keletkező kifáradási határ, amikor a közép-feszültség = 0. A *lüktető szilárdság* ugyanilyen határeset az ismételt lüktető igénybevételeknek: az a kifáradási határ, amelynél a közép-feszültség éppen a feszültséglengéssel egyezik.

A kifáradási határra jellemző ismétlések száma  $N = \infty$ . A gyakorlat szempontjából nem folytatható a terhelés végtelen számú ismétléssel, ezért helyette elég nagy véges számot adnak meg ama ismétlődő igénybevételek számaként, amely mellett a kifáradási határral való terheléskor törésnek még nem szabad bekövetkeznie. Acéloknál  $N = 10^7$ , fémeknél  $N = 5 \cdot 10^7$ . Gyors vizsgálattal közelítőleg meghatározott kifáradási határnak számít az a feszültség, amely acéloknál  $2 \cdot 10^6$  ismétlésre, fémeknél  $10 \cdot 10^6$  ismétlésre még nem okoz törést.

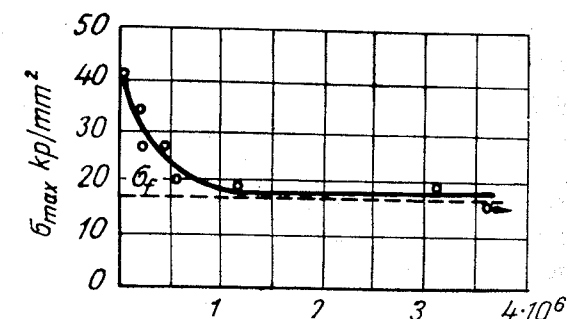
Néha szükség lehet az igénybevétel fajának pontosabb megadására. Húzásra „h”, nyomásra „ny”, hajlításra „hj”, forgó hajtogatásra „fht” indexeket szokták használni.

## 26.2. Wöhler-diagram

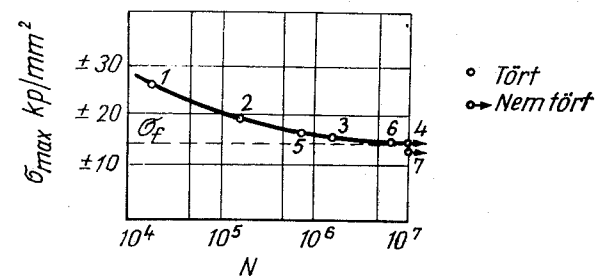
A kifáradási határ meghatározására a múlt évszázad közepén A. Wöhler dolgozott ki eljárást, amely még ma is használatban van. Eljárása szerint fárasztó kísérletnek vetnek alá 6–10 azonos méretű próbatestet, melyeknek igénybevett felületét a lehető leg-simábbra készítik ki (polírozzák).

A teljesen sima felületre azért van szükség, mert a legkisebb felületi hiba, karc stb. lényegesen csökkenti a kifáradási határt. Ha pl. a próbatesten az  $l_0$  mérőhosszúságot karcolótűvel bármilyen gyengén bejelöljük, a fáradt törés mindig a jel által megjelölt keresztmetszetben következik be, hacsak nem fordul elő a fárasztott rész felületén ennél mélyebb felületi hiba.

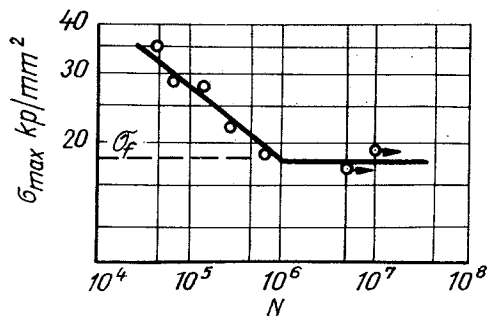
Mindegyik próbatestet más nagyságú ismétlődő igénybevételnek teszik ki. A terheléseket helyesen úgy választják, hogy a legnagyobb igénybevételtől közelednek



339. ábra. Lineáris léptékű Wöhler-diagram



340. ábra. Féllogaritmusos Wöhler-diagram



341. ábra. Kettős logaritmikus Wöhler-diagram

diagramban úgy, hogy a törési számokat tartalmazó vízszintes tengely léptéke logaritmikus, és kettős logaritmikus léptékű ábrázolásban. E háromféle ábrázolást mutatja a 339., 340. és 341. ábra.

A Wöhler-diagramnak alsó vízszintes érintője metszi ki a feszültség tengelyből a kifáradási határt. A 3 diagram alakja azt mutatja, hogy az utolsó két ábrázolási mód adja meg legfeltűnőbbben a kifáradás határát.

### 26.3. A fárasztókísérlet eredményeinek értékelése méretezésnél

A Wöhler-görbe egyes pontjait több azonos feszültségen végzett fárasztókísérlet adatából készítik el. A próbatestek különböző ismétlés után törnek. Egy-egy feszültséghez az azon a szinten kapott törést okozó ismétlési számok középértékét fogadják el. Ez annyit jelent, hogy egy-egy feszültség szinten végzett fárasztókísérletnél a próbatestek fele kevesebb ismételt igénybevételt bír ki, mint azt a Wöhler-görbe megadja. E görbe pontjai tehát pl. 50%-os törési valószínűséggel adják meg a fáradt törést okozó ismétlési számokat a görbe lejtős ágán. De ugyanez a törési valószínűsége a Wöhler-görbe vízszintes ága által jelzett kifáradási határnak is.

Gépszerkezeteink üzemben tartásuk alatt nincsenek minden esetben kitéve  $10^7$ -szer ismétlődő egyformán maximális terhelésnek. Ha tehát a kifáradási határra méreteznék, akkor a túlméretezés miatt súlyukat feleslegesen növelnék, ami mozgó szerkezeteknél (daruk, járművek) kétszeresen káros, mert egyrészt szerkezeti anyagpazarlást, másrészt a nagyobb tömegek mozgása miatt üzemanyag-pazarlást okoz. Ezért a korszerű méretezésnél

a gépalkatrészeket az üzembentartásuk előre tervezett tartama alatt előforduló ismételt igénybevételek számának megfelelő kifáradásra kell méretezni.

Az üzem tervezett tartamára eső összes ismételt igénybevételi szám,  $N_{\bar{u}}$  a Wöhler-görbén olyan feszültséget ad meg ( $\sigma_{f\bar{u}}$ ), amely a mérési eredmények átlagát képviseli,

a kifáradási határ felé. Ha olyan feszültséget értek el, amellyel terhelve a próbatest acélnál  $10^7$  igénybevétel után sem tört el, akkor a két utolsó terhelés között veszik fel a következő igénybevételt, hogy így a kifáradási határt megközelítsék.

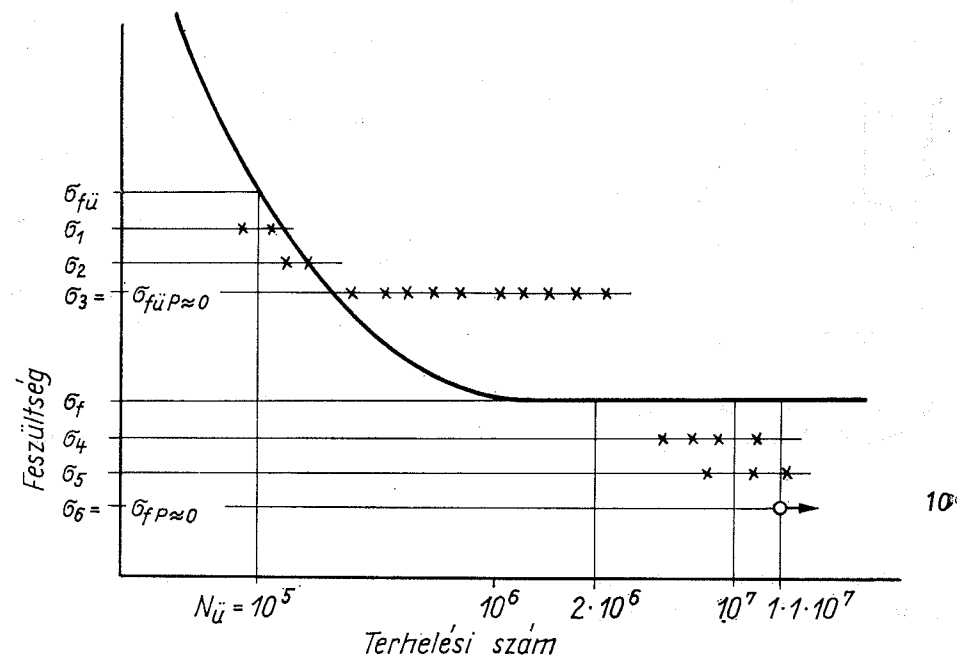
A fárasztó kísérletnél kapott adatokat általában 3-féle ábrázolásban lehet  $\sigma-N$  diagramba foglalni: kettős lineáris léptékű; féllogaritmikus léptékű

és így törés ellen nem ad teljes biztonságot. A törés elhárítására eddig egy bizonyos biztonsági tényezővel való szorzással csökkentették a  $\sigma_{f\bar{u}}$  értékét a megengedett ismételt igénybevétel meghatározására. Ez az eljárás nem korszerű, mert a biztonsági tényező megállapítása szubjektív becsléseken alapszik.

Az elegendő biztonságos tartamméretezés alapját képező  $N_{\bar{u}}$  ismétlési számhoz tartozó elenyészően kis,  $P \approx 0$  törési valószínűséget biztosító ismételt igénybevételt,  $\sigma_{f\bar{u}P \approx 0}$ -t lehet kísérletileg is meghatározni. Ennek módszerét a 342. ábra szemlélteti.

Keves, 5–8 próbatest fárasztásával, vagy esetleg a 26.4. pontban ismertetett Locati-módszer segítségével egyetlen próbatest fárasztásával elkészítjük a Wöhler-görbét. Az  $N_{\bar{u}}$  üzemi igénybevételi számhoz (pl.  $10^5$ ) vetítéssel meghatározzuk a  $\sigma_{f\bar{u}}$  kifáradási határt. A  $P \approx 0$  törési valószínűséget biztosító  $\sigma_{f\bar{u}P \approx 0}$  kifáradási határ ennél biztosan kisebb. Ezért a fárasztó kísérleteket tovább folytatjuk  $\sigma_{f\bar{u}}$ -nél kisebb  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \dots$  feszültség szinteken. Az egyes feszültség szinteken takarékosagból csak 1–2 próbatestet fárasztunk mindaddig, míg azok törési számai a Wöhler-görbe bal oldalára esnek. Ha az egyik szinten az első törés a görbe jobb oldalára kerülő ismétlési számnál következik be, akkor a fárasztást több, 10–20 próbatesttel megismételjük.  $\sigma_{f\bar{u}P \approx 0}$  biztonságos kifáradási határ az a feszültség, melynél minden törés a görbe jobb oldalára esik.

Egészen hasonlóan határozható meg a  $N = 10^7$  ismétlési számhoz tartozó kifáradási határnak  $P \approx 0$  valószínűségű törést okozó  $\sigma_{fP \approx 0} < \sigma_f$  kp/mm<sup>2</sup> értékei is.



342. ábra. A  $p \approx 0$  törési valószínűséghez tartozó  $\sigma_{f\bar{u}P \approx 0}$  kísérleti meghatározása  $N_{\bar{u}} = 10^5$  igénybevételi számnál (tartamméretezésnél). A  $\sigma_{fP \approx 0}$  kísérleti meghatározása

A szerkesztés menetét a 342. ábra mutatja. A nyilas kör mellé írt szám a feszültség-szinten el nem tört próbatetek számát jelzi.

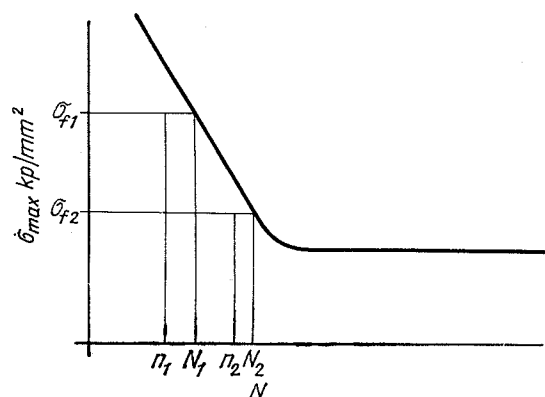
A leírt kísérleti módszerrel csökkenteni lehet, esetleg meg is lehet szüntetni a kifáradási határra való méretezés bizonytalanságát. Ez a módszer annál biztosabb eredményt ad, minél több próbatestet fárasztanak egy-egy feszültség-szinten és minél több szinten végzik a kísérletet. A tömeggyártás biztosítja a vizsgálati módszer gazdaságosságát. Az életbiztonság gyakran megköveteli alkalmazását.

## 26.4. Gyorsított fárasztókísérletek

### a) A károsodások halmozódásának elmélete

A kifáradási határ meghatározása a Wöhler-görbe felvétele útján sok próbatesten hosszantartó kísérletet igényel. Az ipari fejlődés gyorsuló iramában érthető az a törekvés, hogy a kifáradási határ legalább közelítő meghatározására gyorsabb módszert dolgozzanak ki. A rövidített fárasztókísérletek alapja legtöbbször *Palmgren* és *Miner* a károsodások halmozódására vonatkozó hipotézise.

*Palmgren* és *Miner* elmélete szerint a fáradt törés előidézéséhez szükséges munka mindig azonos, akár egy feszültségen következnek be a hozzátartozó törést okozó



343. ábra. A károsodások halmozódása elméletének levezetésében szereplő összetartozó értékek

ismételt terhelés után, akár többféle feszültségen a hozzájuk tartozó törési számoknál kisebb számú ismétlés után. Az ismételt terhelések során végzett munka arányos a feszültséggel és az ismétlések számával. Ezek szerint a 343. ábra szerint a  $\sigma_{f1}$  feszültség-szinten  $N_1$  törési szám után a Wöhler-görbének megfelelő pl.  $P = 0,5$  valószínűséggel bekövetkező törésig végzett munka

$$L_{t1} = C\sigma_{f1}N_1. \quad (91)$$

Hasonlóképpen a  $\sigma_{f2}$  feszültség-szinten

$$L_{t2} = C\sigma_{f2}N_2.$$

Ha a  $\sigma_{f1}$  szinten  $n_1^* < N_1$ , a  $\sigma_{f2}$  szinten  $n_2 < N_2$  ismételt igénybevétellel terhelik a próbatetet, a vonatkozó munkák:

$$L_1 = C\sigma_{f1}n_1 \quad \text{és} \quad L_2 = C\sigma_{f2}n_2.$$

\* A következőkben  $n_1, n_2 \dots n_i$  nem percenkénti, hanem az  $N_1, N_2 \dots N_i$ -nél kisebb ismétlési számot jelent.

Azonos szintű munkák viszonya:

$$\frac{L_1}{L_{t1}} = \frac{C\sigma_{f1}n_1}{C\sigma_{f1}N_1} = \frac{n_1}{N_1} \quad \text{és} \quad \frac{L_2}{L_{t2}} = \frac{n_2}{N_2}.$$

E két utolsó egyenletet összegezve

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = \frac{L_1}{L_{t1}} + \frac{L_2}{L_{t2}}.$$

Azonos anyagnál a törési munka állandó, tehát  $L_{t1} = L_{t2} = L_t$ , ezzel

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = \frac{L_1 + L_2}{L_t}.$$

Az  $n_1$ -szer ismétlődő  $\sigma_{f1}$  és  $n_2$ -szer ismétlődő  $\sigma_{f2}$  feszültségű terhelések akkor okoznak törést, ha

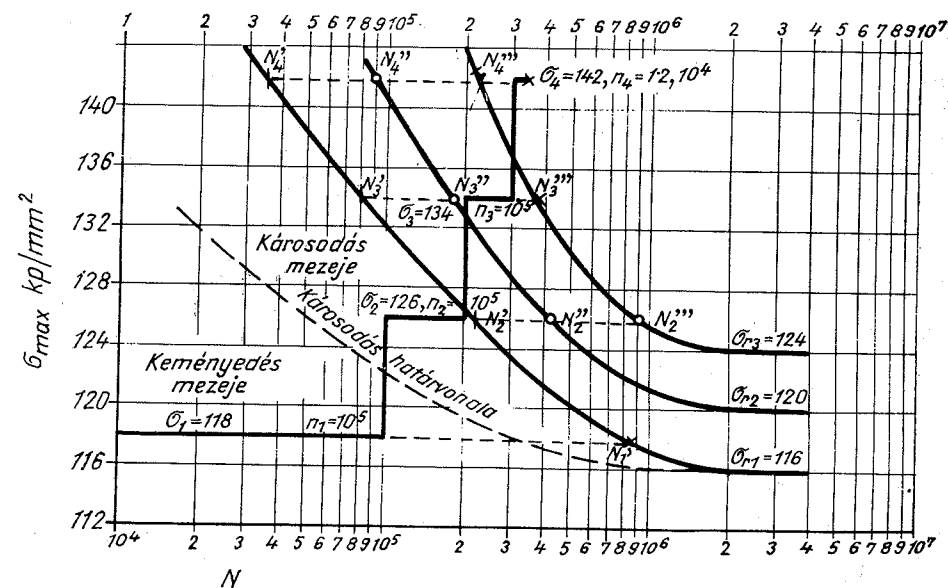
$$L_1 + L_2 = L_t.$$

A károsodások halmozódásának elmélete szerint tehát a törés a különböző szintű terhelések következtében akkor következik be, ha

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} = 1,$$

illetve általánosítva  $\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_k$  feszültség-szintre

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1. \quad (92)$$

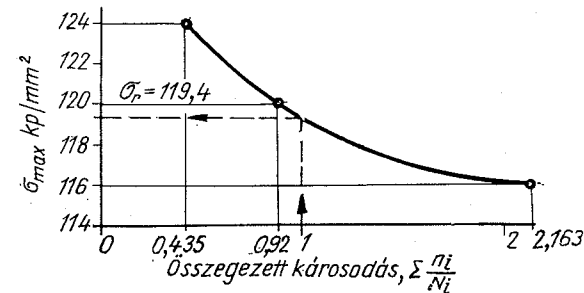


344. ábra. Zongorahúr gyorsfárasztása Lokati-módszerrel

## b) A gyors fárasztás Locati-féle módszere

A károsodások halmozódásának hipotézisét *Locati* olyan gyorsfárasztó módszer kidolgozására használta fel, mellyel egyetlen próbatesttel, lépcsősen növekvő terheléssel,  $5 \cdot 10^5$ – $10 \cdot 10^5$  terhelési számnak megfelelő idő alatt,  $\pm 5 \div 6\%$  megközelítéssel, lehet a kifáradási határt meghatározni. Módszerét egy konkrét példa kapcsán ismertetjük.\*

Felrajzolunk három Wöhler-görbét, melyek egyike a vizsgálandó anyag becsült kifáradási határának, a másik kettő valamivel nagyobb és kisebb kifáradási határnak felel meg. A 345. ábra ilyen



345. ábra. A kifáradási határ meghatározása Lokati-módszerrel

görbéket mutat egy  $\sigma_B = 220$  kp/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságú 2,5 mm átmérőjű zongorahúr-acélhuzal lüktető szilárdságára, amelyet középértékben  $\sigma_r = 120$  kp/mm<sup>2</sup>-re becsültek.

Egy próbatestet lépcsősen fárasztunk úgy, hogy az első terhelési lépcső 118 kp/mm<sup>2</sup> és a terhelés száma  $n_1 = 10^5$ . A terhelést ezután  $118 + 8 = 126$  kp/mm<sup>2</sup>-re növelve tovább fárasztjuk a próbatestet  $n_2 = 10^5$  ismétlésével. A 3. lépcső  $126 + 8 = 134$  kp/mm<sup>2</sup>  $n_3 = 10^5$ , a negyedik lépcső terhelése 142 kp/mm<sup>2</sup>, az ismétlési száma azonban már csak  $n_4 = 1,2 \cdot 10^4$ , mert ekkor a próbatest eltört. A terhelési lépcsőket a 345. ábrába berajzoljuk. A terhelési lépcsőkhöz tartozó, a három görbén leolvasható  $N_i'$ ,  $N_i''$  és  $N_i'''$  törési számokat a 21. táblázatban foglalva kiszámítjuk az  $\frac{n_i}{N_i}$  károsodásokat. Az egyes Wöhler-görbékhez tartozó károsodásokat összegezzük és  $\sigma_{r1}, \sum \frac{n_i}{N_i}'$ ;  $\sigma_{r2}, \sum \frac{n_i}{N_i}''$ ;  $\sigma_{r3}, \sum \frac{n_i}{N_i}'''$  értékpárokból megrajzoljuk a  $\sigma - \sum \frac{n_i}{N_i}$  diagramot (346. ábra).

*Palmgren—Miner*nek a károsodások összegeződésére vonatkozó elmélete szerint a görbén át a  $\sum \frac{n_i}{N_i} = 1$  pontból a  $\sigma$ -tengelyre vetítve megkapjuk a vizsgált anyag kifáradási határát, esetünkben a zongorahúr lüktetőszilárdságát:  $\sigma_r = 119,4$  kp/mm<sup>2</sup>.

A *Locati*-gyorsfárasztás természetesen csak közelítő értéket ad. A közelítés  $\pm 5\%$ -os szokott lenni, ami a gyakorlati tájékoztatásra, illetve az 50%-os törési biztonsághoz tartozó közepes kifáradási határ meghatározására kielégítő pontosság. A példánkban szereplő zongorahúrral ugyanezt a lépcsős terhelésű kísérletet négy-szer ismételték meg ugyanannak a zongorahúr-huzalnak négy próbatestjén. Az ered-

\* A Vasipari Kutató Intézetben 1963-ban végzett kutató munkából. Végezte dr. Szombatfalvy Árpád.

| Kísérleti adatok                    |                  | Károsodások számítása                            |                    |   |                     |  |                      |
|-------------------------------------|------------------|--|--------------------|---|---------------------|--|----------------------|
| $\sigma_{i\max}$ kp/mm <sup>2</sup> | $n_i$            | $\sigma_{r1} = 116$<br>kp/mm <sup>2</sup> görbén |                    | $\sigma_{r2} = 120$<br>kp/mm <sup>2</sup> görbe |                     | $\sigma_{r3} = 124$<br>kp/mm <sup>2</sup> görbén |                      |
|                                     |                  | $N_i'$   | $\frac{n_i}{N_i}'$ | $N_i''$   | $\frac{n_i}{N_i}''$ | $N_i'''$   | $\frac{n_i}{N_i}'''$ |
| $\sigma_1 = 118$                    | $10^5$           | $860 \cdot 10^3$                                 | 0,116              | 0   | 0                   | 0  | 0                    |
| $\sigma_2 = 126$                    | $10^5$           | $220 \cdot 10^3$                                 | 0,454              | $430 \cdot 10^3$                                | 0,232               | $900 \cdot 10^3$                                 | 0,111                |
| $\sigma_3 = 134$                    | $10^5$           | $80 \cdot 10^3$                                  | 1,250              | $180 \cdot 10^3$                                | 0,555               | $370 \cdot 10^3$                                 | 0,270                |
| $\sigma_4 = 142$                    | $1,2 \cdot 10^4$ | $35 \cdot 10^3$                                  | 0,343              | $90 \cdot 10^3$                                 | 0,133               | $220 \cdot 10^3$                                 | 0,054                |
| Összegezett károsodás               |                  | $\sum \frac{n_i}{N_i}' = 2,163$                  |                    | $\sum \frac{n_i}{N_i}'' = 0,920$                |                     | $\sum \frac{n_i}{N_i}''' = 0,435$                |                      |

mények:  $\sigma_r = 114, 119,4, 126, 122$  kp/mm<sup>2</sup>. A Wöhler-görbével klasszikus módon meghatározott lüktetőszilárdsága  $\sigma_r = 119,2$  kp/mm<sup>2</sup>. A szórás tehát, amely az anyag inhomogenitását is tartalmazza:  $+5,75\%$ ,  $-4,2\%$ . A módszer tehát a kifáradási határ közelítő meghatározására alkalmas.

A károsodások halmozódásának elmélete nem veszi figyelembe azt a Wöhler-görbe alakjából következő ténytet, hogy a kifáradási határnál nagyobb terhelést az anyagok a törést okozónál kisebb ismétlési számig törés nélkül elviselnek. A kutatások azt mutatták, hogy ha a fárasztó kísérlet előtt a kifáradási határnál nagyobb igénybevétel korlátolt,  $10^6$ -nál kisebb számú ismétlése az anyag kifáradási határára kétféle, ellentétes hatású lehet: egy bizonyos ismétlési számig növelik, azon felül csökkentik a kifáradási határt.

A 345. ábra  $\sigma_{r1} = 116$  kp/mm<sup>2</sup>-hez tartozó Wöhler-görbéhez szaggatott vonallal jelölt görbe az ún. *károsodás határvonala*. E görbe és a Wöhler-görbe eső ága között levő pontok olyan összetartozó feszültségeket és terhelési számokat határoznak meg, amelyekkel végzett előzetes ismételt igénybevétel a próbatest anyagában olyan káros elváltozásokat (szubmikroszkópos vagy mikroszkópos repedéseket) okoz, ami az anyag kifáradási határát csökkenti. *A károsodás határvonala alatt levő pontok olyan ismétlési számait adják a feszültségeknek, amelyek mellett az anyag repedések képződése nélkül felkeményedik, és ennek folytán kifáradási határa nő.*

A lépcsős terhelésű gyorsfárasztásnál tehát csak azok a terhelési lépcsők okoznak károsodást, amelyeknek végpontjai a károsodás határvonala fölé esnek. Példánkban a 118 kp/mm<sup>2</sup>-rel  $n_1 = 10^5$  terheléssel végzett ismételt igénybevétel végpontja a károsodás vonala alá esik. Ez az előterhelés tehát nem csökkenti, hanem növeli a

kifáradási határt. Ebből következik, hogy az  $\frac{n_1}{N_1} = 0,116$  károsodás helyett szilárdulás keletkezik. Ezt úgy vehetjük számba, hogy a 0,116-ot ellenkező előjellel vesszük. A  $\sigma_{r1} = 116 \text{ kp/mm}^2$  görbéjére számított összegezett károsodás így 1,92-re csökken. A 346. ábra azt mutatja, hogy ez a görbe alakját alig változtatja, így a  $\sigma_r$  értékére nem hat.

## 26.5. Kifáradási határdiagramok (biztonsági területek)

Az ismételt igénybevételek változatossága azzal a következménnyel jár, hogy nem beszélhetünk „az acél kifáradási határáról”. A szerkezeti anyagoknak nagyon sokféle kifáradási határunk van. Méretezésnél szükség van arra, hogy a szerkezeti anyagoknak kifáradási határértékeit áttekinthető diagramban ábrázolják, hogy a konstruktőrök az ismételt igénybevételnek megfelelő terhelés szerint a szerkezet számára legmegfelelőbb anyagot választhassák. A gépszerkesztők munkáját könnyítik meg a szerkezeti acélok kifáradási határtípusairól készült összefoglaló diagramok, az ún. *biztonsági területek*.

Kifáradási határra vonatkozó diagramokat azonos jellegű fárasztó igénybevételekre külön-külön készítenek. Így vannak normális feszültségű, ismételt húzó-nyomó igénybevétellel meghatározott kifáradási határokat összefoglaló diagramok, ismételt hajlító és ismételt csavaró igénybevételekre meghatározott biztonsági területek.

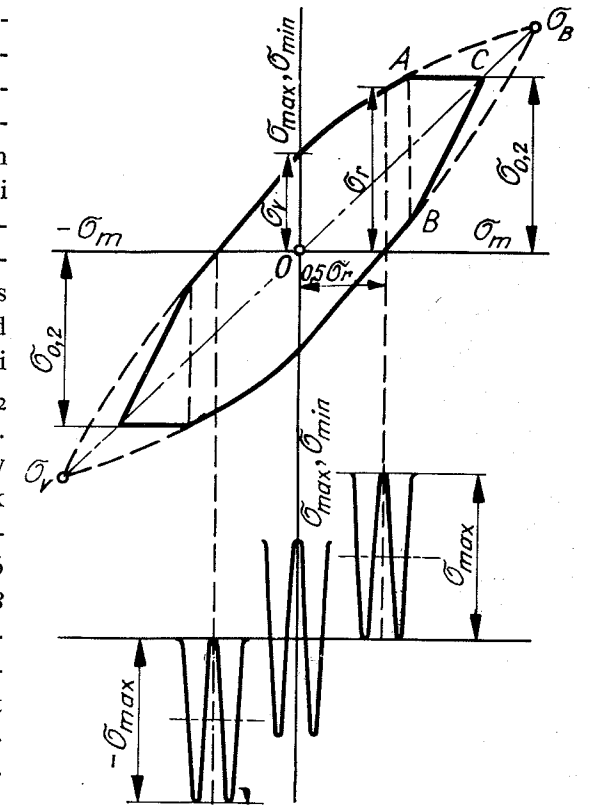
A kifáradási határokat összefoglaló diagramok úgy készülnek, hogy a  $\sigma_{\max}$ , illetve  $\sigma_{\min}$  értékeket a  $\sigma_m$  középfeszültség függvényében ábrázolják. A diagram tengelykeresztjének vízszintes tengelyén tehát a középfeszültség, függélyes tengelyén pedig a legnagyobb feszültségek értékei szerepelnek. A vízszintes tengely a kezdőponttól jobbra, a függélyes tengely a kezdőponttól felfelé pozitív, húzó igénybevételt jelez. Az ellenkező irányú tengelyek negatív, nyomó igénybevételt jelentenek.

Az egyes szerkezeti anyagok biztonsági területeinek meghatározása kísérletileg rendkívül sok Wöhler-görbe felvételét követeli meg. A műszaki gyakorlatban azonban kialakult a biztonsági területeknek olyan szerkesztési módszere, amely a minimális számú fárasztó kísérlet elvégzésével teszi lehetővé olyan biztonsági terület felrajzolását, amelyet a gépszerkesztők kielégítő biztonsággal használhatnak fel. Ismételt húzó-nyomó fárasztásra érvényes biztonsági területet meg lehet szerkeszteni egy szakítókísérlet és két Wöhler-görbe felvételével. Ha ismert a szerkezeti anyag folyáshatára, lüktetőszilárdsága és lengőszilárdsága, akkor a *húzó-nyomó fárasztó igénybevételre érvényes biztonsági terület* a 346. ábra szerint a következőképpen szerkeszthető meg:

A 0 pontból  $45^\circ$  alatt hajló egyenest húznak. Ez az egyenes jelöli a  $\sigma_m$  középfeszültséget éppúgy, mint a vízszintes tengely. A 0 ponttól felfelé és lefelé felméri a

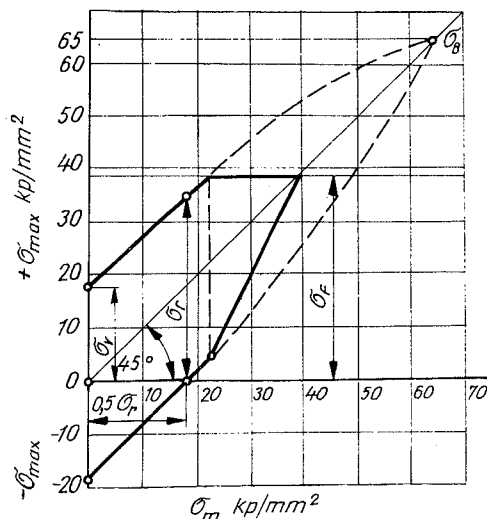
lengőszilárdság,  $\sigma_v$  értékeit. A  $\sigma_m = \frac{\sigma_r}{2}$  pontjából a vízszintes tengelynek felméri a  $\sigma_r$  lüktetőszilárdságot. A lengő- és lüktetőszilárdságok felső pontjait összekötő görbe adja a biztonsági terület felső határgörbéjét. A lengő- és lüktetőszilárdság alsó pontjait összekötő görbe adja a biztonsági terület alsó határgörbéjét. E két határgörbe elméletileg a  $\sigma_m = \sigma_B$  pontban metszi egymást az ábrába berajzolt szaggatott vonal szerint. A valóságban azonban a területnek a folyási határ felett levő része nem használható, mert az anyagokat ismételtelen a folyási határ felett a törés veszedelme nélkül nem szabad igénybe venni. Ezért a biztonsági területet felülről a  $\sigma_F$ , illetve  $\sigma_{0,2}$  vízszintes egyenessel határolják. Az alsó határgörbéjét pedig úgy kapják meg, ha a  $\sigma_F$  egyenesnek a felső határgörbével való metszéspontját, A-t levetítik az alsó határgörbére, és az így kapott B pontot összekötik a  $\sigma_F$ -nek a  $45^\circ$ -os egyenessel alkotott C metszéspontjával. Ez a biztonsági terület megadja azon terheléseket jellemző pontokat, amelyek által jellemzett ismételt igénybevételek az anyagból készített polírozott felületű fárasztó-próbatesteket  $10^7$  ismétlési számon belül nem törnek el.

A szerkezeti acélokra nézve feltételezik, hogy nyomással szemben ugyanolyan ellenállást tanúsítanak, mint húzóigénybevétellel szemben, vagyis hogy a fent leírt szerkesztéssel készített biztonsági terület a  $\sigma_{\max} - \sigma_m$  tengelyek metszéspontján átmenő merőleges tengelyre a 346. ábra szerint szimmetrikus. Ez a szerkezeti acélokra nagyjában igaz is. A biztonsági terület nyomási részére azonban a konstruktőröknek általában nincsen szükségük. A 347. ábra azt az egyszerűsített szerkesztési módot szemlélteti, amelynél a  $\sigma_r$  és  $\sigma_v$  alsó és felső pontjait egyenesekkel kötjük össze és így kapjuk a biztonsági terület alsó és felső határgörbéjét. Nem vonatkozik ez azonban az öntöttvasra, amelynek teljes kifáradási határdiagramját a 348. ábra tünteti fel.

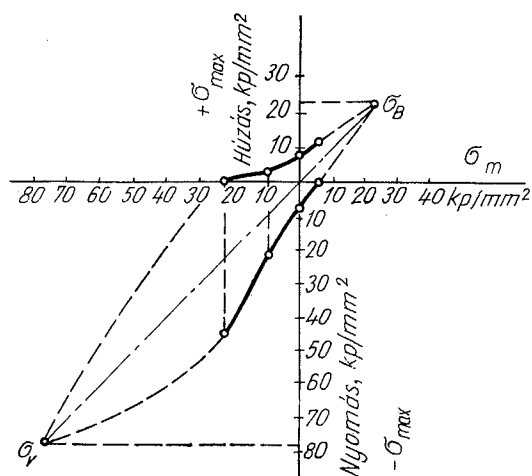


346. ábra. A kifáradási határok biztonsági területének szerkesztése

Ez a diagram szemlélteti az öntöttvasnak azt a jellegzetes tulajdonságát, hogy nyomásra lényegesen nagyobb igénybevétellel terhelhető ismételten, mint húzásra. Húzóigénybevételt az öntöttvas a grafitkristályok keresztmetszet-csökkenő és



347. ábra. Egyszerűsített biztonsági terület

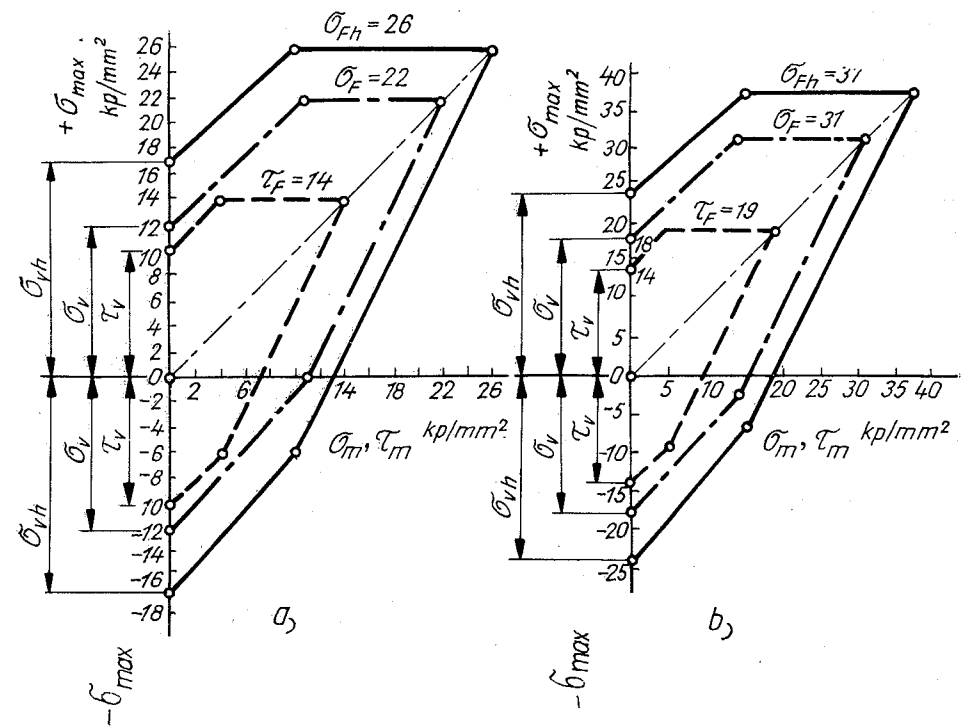
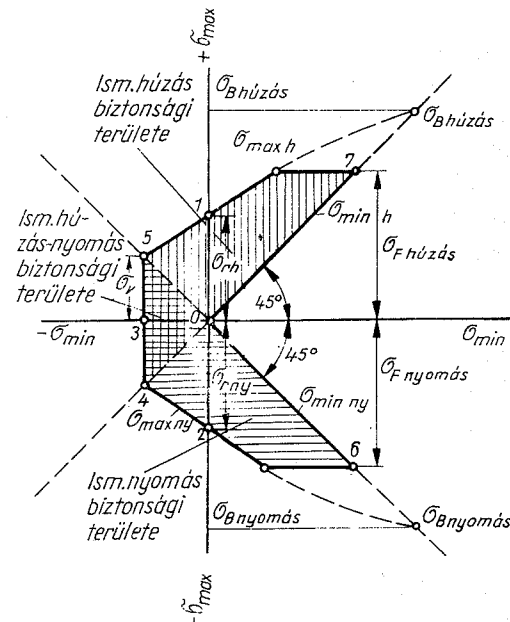


348. ábra. Az öntöttvas teljes biztonsági területe

bemetszésekként feszültségcsúcsokat létesítő hatásuknál fogva lényegesen kisebb mértékben bír el ismételten, mint a nyomó igénybevételt. Az ismételt húzás és nyomás biztonsági területeit lehet megszerkeszteni más módon is: például úgy, mint azt a 349. ábra mutatja, amely a módosított Goodman-ábrát, tünteti fel. Ez az ábra egy húzókísérlet és egy nyomókísérlet útján megállapított folyáshatárok, valamint egy lengőfárasztó kísérlet sorozattal meghatározott lengőszilárdság, az ismételt húzóterheléssel megállapított lüktetőszilárdság, valamint az ismételt nyomóterheléssel megállapított nyomólüktető-szilárdság segítségével szerkeszthető meg.

A Goodman-ábrában a vízszintes tengely az ismételt alsó feszültségeket, a függőleges tengely az ismételt felső feszültségeket ( $\sigma_{max}$ ), a 45°-os egyenesek ugyancsak az ismételt alsó feszültségeket ( $\sigma_{min}$ ) jelölik. Szerkesztésénél úgy járnak el, hogy a 0 ponttól felfelé a húzással megállapított lüktetőszilárdságot, lefelé a nyomással megállapított lüktetőszilárdságot mérik fel. Így kapják a diagram 1 és 2 pontjait. A 0 ponttól negatív irányban felrakják a lengőszilárdságértékét (3) és ebből a pontból lefelé és felfelé felrakják ugyancsak a lengőszilárdságokat: (4), (5) pontok. Az 5—1 pontokat összekötő egyenest meghosszabbítva kapják a felső határgörbét a húzó ismételt igénybevételeknek. Ugyanígy a 4 és 2 pontot összekötő egyenest meghosszabbítva kapják a nyomásra vonatkozó  $\sigma_{max}$  felső határgörbét a biztonsági területnek. Az alsó határgörbét a 45°-os egyenesek adják. E diagramot

349. ábra. A teljes biztonsági területek Goodmann-ábrája



350. ábra. Hajlító (teljes vonal), húzó-nyomó (eredményvonal) és csavaró kifaradási határ (szaggatott vonal) biztonsági területei a)  $\sigma_B = 37$  kpl/mm<sup>2</sup>, b)  $\sigma_B = 52$  kpl/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságú ötvöztelen acélra

éppúgy, mint az előbbi a húzással és a nyomással megállapított folyási határ értékekkel kell határolni. A 349. ábra függőlegesen vonalkázott területe az ismételt húzó, a vízszintesen vonalkázott az ismételt nyomóigénybevételek biztonsági területe. A függőleges és vízszintes vonalakkal jelölt terület az ismételt húzó-nyomó feszültségek, lengő terhelések biztonsági területe. Fáradt törés nem következik be, ha az ismételt igénybevétel e területeken belül marad.

Az egyes igénybevételek típusaival szemben az anyagok általában nem egyformán reagálnak fárasztásnál. Azonos acélfajtának legnagyobb a kifáradási határa ismételt hajlítással szemben, legkisebb ismételt csavarással szemben. Az ismételt húzás-nyomással szembeni ellenállóképessége e két igénybevétel között áll. Ezt szemlélteti a 350. ábra, amely kétféle ötvözetlen acél 3-féle terhelésre vonatkozó biztonsági területeit ábrázolja.

## 26.6. A felület minőségének hatása a kifáradási határra

A fáradt repedések külszíni vizsgálata mindenkor azt mutatja, hogy a fáradt törés az anyag valamilyen folytonossági hibájának körzetéből indul ki. Egy forgó-hajtogató igénybevételnek kitett tengely kifáradási határát a polírozott állapotban megállapított értékhez képest lényegesen csökkentheti felületének tényleges minősége. A fáradt törések mindenkor a tengely felületén levő karcokból, eszterganyomokból indulnak ki. Hasonló a helyzet egyéb fárasztó igénybevételeknél is azzal a különbséggel, hogy pl. az ismételt húzó-nyomó fárasztásnál a kifáradási határra nemcsak a felületi minőség, hanem az igénybevételre merőleges keresztmetszetben jelentkező folytonossági hiányok is csökkentőleg hatnak. A hegesztő varratokban előforduló salakzáródmányok, gázhólyagok mindig ott szerepelnek a kagylós fáradt törés gyűrűinek középpontjában, jelölül annak, hogy a fáradt törés azoknak a felületéről indul ki.

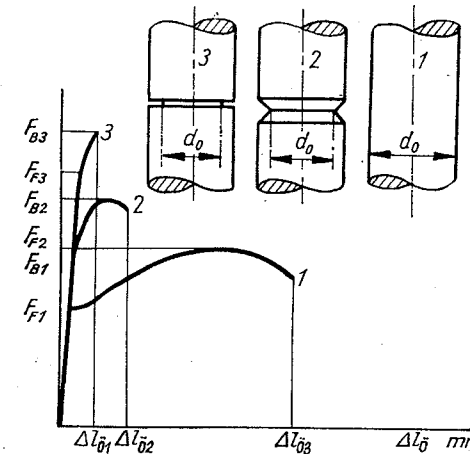
A felület, valamint az igénybe vett keresztmetszet egyenetlenségei azért kiindulópontjai a fáradt töréseknek, mert azoknak szegélyén a feszültség nem azonos nagyságú a keresztmetszet többi részein keletkezővel, hanem azoknál lényegesen nagyobb.

A hirtelen keresztmetszetrozódás a sztatikus szilárdsági tulajdonságokra is hatással van. A 351. ábrán azonos  $A_0$  keresztmetszetű sima és kétféle bemetszett próbatest szakítódigramjait tüntettük fel elvi vázlatban. A bemetszés növeli a feszültség jellegű sztatikus szilárdsági tulajdonságokat, a folyáshatárt és a szakítószilárdságot, és csökkenti a képlékenységet jellemző nyúlást. E hatások nagysága a bemetszés oldalfalának meredeksége arányában növekszik

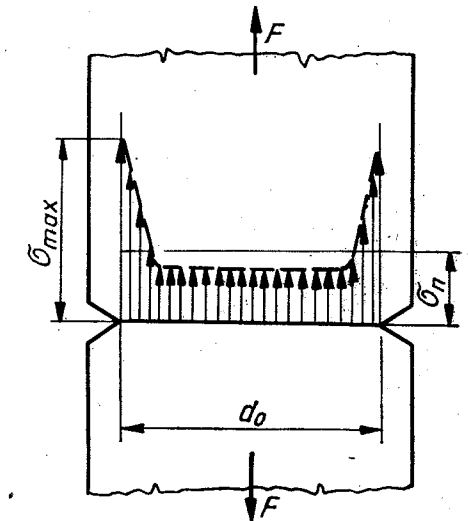
$$\sigma_{F1} < \sigma_{F2} < \sigma_{F3};$$

$$\sigma_{B1} < \sigma_{B2} < \sigma_{B3};$$

$$\delta_1 > \delta_2 > \delta_3.$$



351. ábra. Bemetszések hatása a sztatikus szilárdsági tulajdonságokra



352. ábra. Szakítópróbatest feszültségeloszlása az éles horonnyal bemetszett helyen

E jelenség magyarázata a bemetszés helyén keletkező feszültségcsúcs. Az éles horonnyal bemetszett szakítópróbatest ép keresztmetszetében keletkező feszültségeloszlást a 352. ábra mutatja elvi vázlatban. A bemetszés sarokélén keletkező legnagyobb feszültség értékét számítással lehet megállapítani, ennek nagysága

$$\sigma_{\max} = \alpha_k \sigma_n, \quad (93)$$

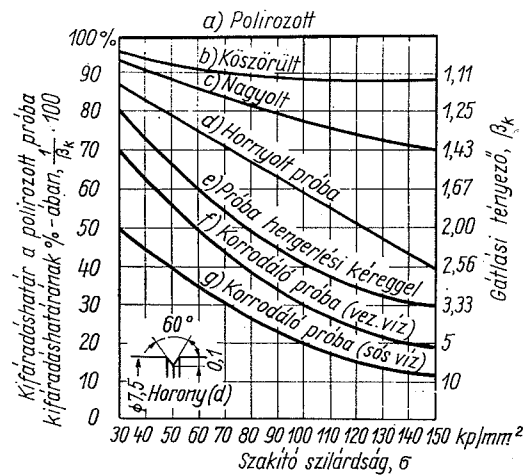
ahol  $\sigma_n = \frac{F}{A_0}$  egyenletes eloszlású feszültség.

A valóságos feszültségcsúcs azonban fenti számított értéknél kisebb. Ez a valódi feszültségcsúcs az alakon kívül függ még az anyag minőségétől; lágyabb anyagnál kisebb, mint keményebbnél; és a felület minőségétől: köszörült felületnél kisebb, mint simítottnál. Legnagyobb a durva nagyolt, nyers öntött vagy hengerelt felületnél. A tényleges jelentkező feszültségcsúcs értéke

$$\sigma'_{\max} = \beta_k \sigma_n \quad (94)$$

A csak az alaktól függő  $\alpha_k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}$  értéket alaktényezőnek, az alakon kívül az anyagtól és felületi kiképzéstől is függő  $\beta_k = \frac{\sigma'_{\max}}{\sigma_n}$  értéket gátlási tényezőnek nevezik.

A gátlási tényezőt a kifáradási határ megállapításánál úgy kell figyelembe venni, hogy a sima, fényesített felületű próbatesttel megállapított kifáradási határ értéket a gátlási tényezővel osztják. Az így kapott érték a számításnál figyelembe veendő



353. ábra. A körkeresztmetszetű acélrúd kifáradási határának változása a szilárdsággal különböző felületi minőség és közeg hatására

valóságos kifáradási határ. A felület minőségének hatását a különféle szakítószilárdságú acélok kifáradási határára a 353. ábra tartalmazza.

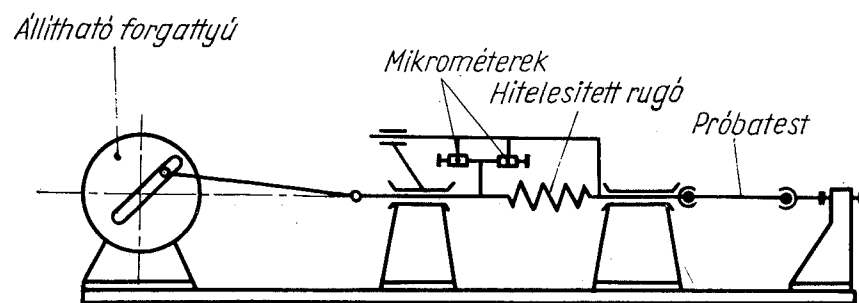
### 26.7. Fárasztógépek

A fárasztógépeket úgy szerkesztik, hogy velük a Wöhler-görbék meghatározásához szükséges adatokat megállapíthassák. Ezért e berendezéseket a következőkkel kell felszerelni: 1. az ismételt igénybevételt keltő berendezés, 2. az igénybevétel nagyságát mérő berendezés, 3. szabályozóberendezés a feszültség-

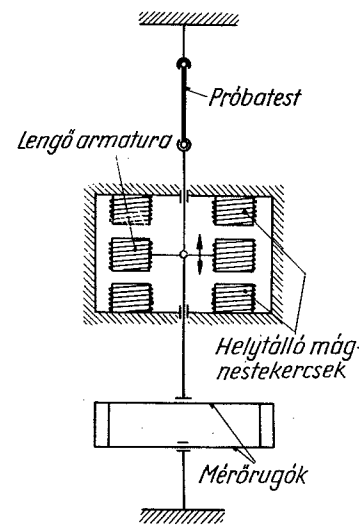
tárok betartására  $\pm 2\%$  pontossáig, 4. a próbadarab befogására alkalmas befogó szerkezet, amely az igénybevételt megbízhatóan átadja, 5. olyan számláló-szerkezet, mely a terhelésváltozások számát önműködően mutatja és töréskor a gépet leállítja.

A gépek azonos rugalmas alakváltozást, illetve azonos terhelést adnak a próbatestnek egy alsó és egy felső határ között. Típusaik az igénybevétel fajai szerint: húzó-nyomó fárasztógépek, pulzátorok; forgó-hajtogató; hajlító; csavaró fárasztógépek. A nagyon sokféle fárasztógép-típus közül néhány legegyszerűbbnek vázlatát adjuk.

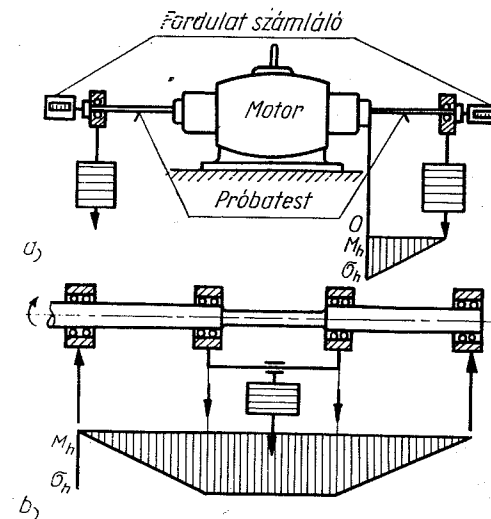
A mechanikus terhelésű fárasztógép legegyszerűbb, régi típusa a forgattyús hajtású, amelyet a 354. ábra mutat. Az amplitúdó változtatására a forgattyú nagysága változtatható kulisszás eltolással. A terhelés mérésére hitelesített rugót iktatnak a próbatest és a forgattyú közé. Az erő mérése a rugó megnyúlásának és összenyomódásának mikrométerekkel való mérésével történik, e megnyúlás arányos az erővel, és



354. ábra. Húzó-nyomó forgattyús fárasztógép



355. ábra. Az elektromágneses fárasztógép elve



356. ábra. Forgóhajtogató fárasztógép a) konzolos, b) két támaszú terheléssel

belőle a rugóállandó ismeretében az erő számítható. Ez a gép a tehetetlenségi erők és a rugó rezonanciája miatt spirálrugóval  $n=200/\text{min}$  lapos rugónál  $n=1000/\text{min}$  fordulattal, terhelőciklussal járatható. Ez azt jelenti, hogy még a rövidített  $N=2 \cdot 10^6$  igénybevételi számig folytatandó fárasztókísérlet is  $7-1\frac{1}{2}$  napig tart. Mivel a Wöhler-görbe felvételéhez legalább 6-8 próbatest fárasztása szükséges, a kísérlet nagyon elhúzódik. Ezért lehetőleg nagyobb fordulató gépeket alkalmaznak.

Az elektromágneses fárasztógép egyfázisú váltóárammal gerjesztett helytálló tekercek között tartja lengésben a próbatest befogórúdjára kötött lengő armatúrát (355. ábra). Az előterhelést az armatúra rúdjaához kötött rugókkal, az amplitúdót a résméret beállításával lehet szabályozni. Az ilyen elektromágneses fárasztógép ciklusainak száma a tehetetlenségi tömegek csökkenése miatt  $n=2000/\text{min}$ -től  $8000/\text{min}$  között változik. Utóbbi ciklusszám a nagyfrekvenciás pulzátorokat jellemzi. Az ezekkel kapott kifáradási határok  $n=5000/\text{min}$  ciklusszám fölött a ténylegesnél valamivel nagyobb értéket adnak. A különbség a ciklusszám nagyságától és a fárasztott anyag minőségétől függ.

Legegyszerűbb fárasztógépek a forgó-hajtogató fárasztógépek. Közvetlen villanymotor tengelyére egyik változatuknál konzolosan fogják be a próbatestet (356a ábra) és szabad végét terhelik golyós csapággal felfüggesztett súlyterheléssel. Előnye, hogy egyszerű, hátránya, hogy a próbatestnek a befogása helyén keletkezik a legnagyobb hajlítónyomaték. Egyenletes feszültség csak úgy ébred a próbatest egész hosszában, ha keresztmetszetét az egyenlő szilárdságot adó alak szerint változtatják a hossza mentén. Helyesebb és egyszerűbb viszonyokat adó elrendezés a 356b ábra szerint alkalmazott két támaszú tartós megoldás két helyen támaszó erővel. Ennek nyomatéki és így feszültségi ábrája a fárasztott próbatest teljes hosszán egyenletes.

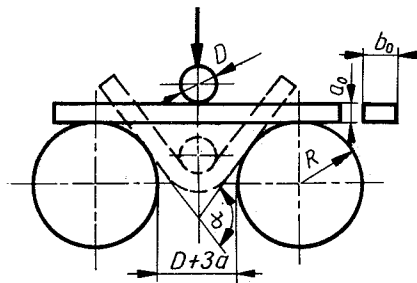


## 27. TECHNOLÓGIAI PRÓBÁK

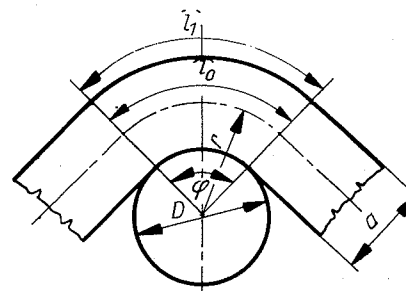
A technológiai próbák az anyagok feldolgozhatóságának, hideg vagy meleg megmunkálhatóságának ellenőrzésére szolgálnak, és rendszeren az anyag feldolgozása közben előforduló alakváltozások szabványos módon való előidézéséből állnak. Általában jellemző rájuk nézve, hogy e próbák során erőmérés nem történik, és a vizsgálat legtöbbször csak egy bizonyos mértékű alakváltozás repedésmentes kivihetőségének ellenőrzéséből áll.

### 27.1. Hajlító- és hajtogatópróba

A technológiai hajlítópróba lemezek, valamint azok hegesztett kötéseinek vizsgálatánál játszik nagy, sokszor döntő szerepet. Lényege, hogy hengeres vagy legtöbbször hasáb alakú próbatestet szabványos hajlítóberendezésben, a 357. ábra szerint úgy hajlítanak meg, hogy a száruk középvonala egy síkban maradjon. A szabványok előírják a repedés nélkül elérendő hajlásszöget ( $\alpha$ ). Az igénybevétel nagyságát a hajlítótüske átmérőjének ( $D$ ) a lemez vastagságához ( $a$ ) való viszonya szabja meg. Annál szigorúbb az igénybevétel, minél kisebb a  $D$  az  $a$ -hoz képest. A szabványokban a  $D=na$  összefüggésben az  $n$  értéke 0,5-től 3-ig változik.



357. ábra. Technológiai hajlítópróba



358. ábra. Tetmayer-féle hajlítási szám meghatározása

A technológiai hajlítóvizsgálat felhasználható a vizsgált anyag alakváltozó képességének mérőszámmal való jellemzésére is. Ez a mérőszám, a Tetmayer-féle hajlítási szám a hajlított szélső szálnak a nyúlását adja meg. A 358. ábra szerint

$$l_0 = r\varphi; \quad l_1 = \left(r + \frac{a}{2}\right)\varphi.$$

A szélső szál fajlagos nyúlása:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100 \%$$

$l_0$  és  $l_1$  értékeit behelyettesítve

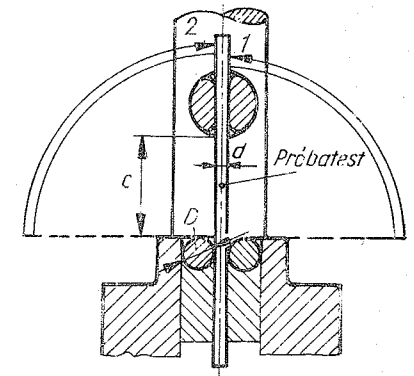
$$\delta = \frac{\left(r + \frac{a}{2}\right)\varphi - r\varphi}{r\varphi} 100\%, \text{ ebből } \delta = 50 \frac{a}{r} \%. \quad (95)$$

A hajtogató vizsgálatot úgy végzik, hogy a huzalt vagy lemezcsíkot felváltva két irányba  $90^\circ$ -ra hajlítják és a törésig elviselt hajtogatásokat megszámlálják. Egy hajtogatásnak számít egy  $90^\circ$ -os le- és visszahajlítás. A 359. ábrán látható huzalhajtogató berendezés  $D$  és  $c$  méreteit a huzal átmérője szerint szabványban előírják.  $D = 4d - 6d$ , ahol  $d$  a huzal átmérője, illetve a lemez vastagsága. Sodronykötelek vizsgálatánál 3 mm átmérőjű, vagy vékonyabb huzalokhoz  $D=5$  mm, vastagabb huzalokhoz  $D=10$  mm, legömbölyítéssel rendelkező befogólapokat használnak. A lemezhajtogató berendezés értelemszerűen ugyanilyen.

### 27.2. Mélyhúzó próba

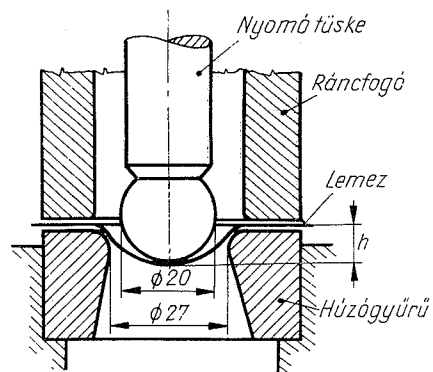
Vékony (0,5–2 mm) lemezek hideg alakítása mélyhúzás útján a lemez anyagában igen nagymérvű képlékeny alakváltozásokat létesít. A síklemez anyaga ugyanis először kisebb átmérőre duzzasztódik, és ugyanakkor a hengerpalást irányában nyújtódik úgy, hogy falvastagságát gyakorlatilag nem változtatja. A húzógyűrű élén tehát az anyag zömítődésből és nyújtásból álló képlékeny alakítást szenved. Az ilyen nagymérvű hideg képlékeny alakítást csak olyan anyag viseli el, amelynek sok kedvező csúszássíkja van. Ilyenek a felületen középpontos szabályos, valamint a térben középpontos szabályos rendszerben kristályosodó színtémek és szilárd oldatok. Ezért mélyhúzásra legalkalmasabb a sárgaréz, réz, 18/8 austenites króm-nikkel acél, a tiszta ferrites lágyacél és alumínium.

Vékony lemezek mélyhúzóhatóságának vizsgálatára az Erichsen-próba szolgál. Ez a próba a 360. ábrán látható szerszámban a mélyhúzást utánzó művelettel tör-



359. ábra. Huzal- és lemezhajtogató próba

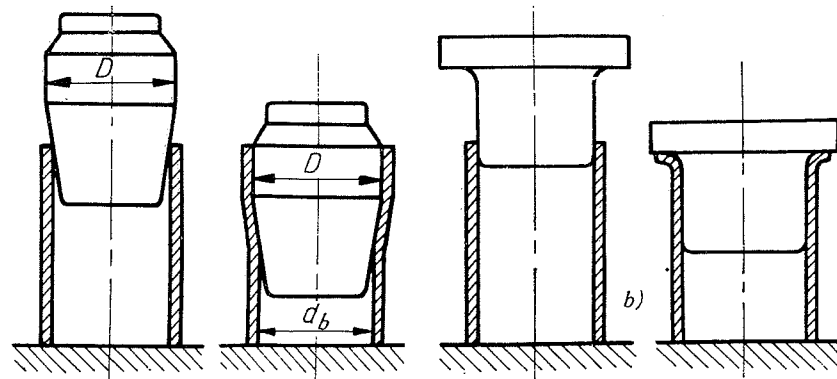
ténik. A húzógyűrű és a ráncfogó sima felületei közé egész kis hézaggal fogják be a mindkét felületén jól becsírozott 70 mm széles lemezdarabot, és a nyomótüskével gömbsüveg alakra nyomják ki. A mélyhúzóhatóság mértéke az *Erichsen-szám*, a berepedésig elért húzási mélység,  $h$  mm. Az Erichsen mélyítési szám a lemezvastagsággal nő, azért vizsgálatkor a mélyítési számhoz mindig meg kell adni, hogy az milyen vastag lemezre vonatkozik.



360. ábra. Mélyhúzó (Erichsen)-próba

60 kp/cm<sup>2</sup> nyomáson végrehajtott víznyomáspróbán kívül *tágító és karimázó kísérletnek* kell alávetni.

A próbákat 140 mm külső átmérőig készült csöveken végzik el. A tágítópróbánál a 361a ábra szerint az előírt tágított méretnek megfelelő  $D$  átmérőjű kúpos végű tüskét kalapáccsal vagy sajtóval nyomnak bele a csőbe, míg annak hengeres része



361. ábra. Csőtágító és peremező próba

30 mm mélyen be nem nyúlik a tágított csőbe. Ezalatt a csőnek nem szabad megrepednie. A túske kúpos része 1 : 5 kúposágú. A belső átmérő méretnövekedése különböző falvastagságokhoz:

$$T\% = \frac{D - d_b}{d_b} 100\% \quad (96)$$

szokott előírászerű lenni.

Karimázó vagy peremező próbánál, amelyet a 361b ábra szerint végzünk, a berepedés nélkül elérendő karimaszélességet írja elő a szabvány. A karima szélességére általában a falvastagság másfélszeresét írják elő.

Gyakran végeznek a csöveken lapítópróbát. Ez a próba 400 mm Ø-ig van előírva olyan csövekre, amelyek falvastagsága átmérőjük 15%-ánál kisebb. A lapítópróba 50 mm hosszú csődarabot használnak, amelyet síklapok között összenomnak és mérik az első berepedésnél a cső belső falának legkisebb távolságát.

## 28. HIBAKERESŐ (NEM RONCSOLÓ) VIZSGÁLATOK

A hibakereső vizsgálatok célja, hogy kész vagy félkész áruknak hibáit, folytonossági hiányait, szemmel nem észlelhető repedéseit felderítsék. E vizsgálatok jelentőségét jól átértjük, ha meggondoljuk, mennyi kárt okozhat emberéletben és anyagi javakban egy repülőgépmotor hajtótengelyének rejtett repedése, ha üzem közben törést okoz, vagy egy fel nem derített hegesztési hiba, mely a hegesztett híd leszakadását okozza. A nem roncsoló, hibakereső vizsgálatok legfontosabb gyakorlati módszerei: *a)* felületi repedések kimutatására: mágneses repedésvizsgálat; penetráló folyadékvizsgálat; — *b)* belső folytonossági hibák felderítésére: röntgen és gamma-sugár-vizsgálat, valamint az ultrahang-vizsgálat.

### 28.1. Mágneses repedésvizsgálat

A mágneses repedésvizsgálat feladata az, hogy ferromágneses anyagok felületéről kiinduló vagy annak közeléig hatoló, szabad szemmel nem látható repedéseit kimutassa. Az eljárás lényege az, hogy a vizsgálandó tárgyat, illetve annak vizsgálandó helyét felmágnesezik, és a mágneses erővonalakkal átjárt felületre kolloidális finomságú ferromágneses anyagot szórnak por alakban, vagy öntenek hordozófolyadékban lebegő állapotban. A mágneses erővonalak a fémekben nagyjában párhuzamosan haladnak, de a repedés diamágneses jellege miatt annak határán kilépnek a levegőbe és ott szórt mezőt képeznek. A mágneses repedésvizsgálat fizikai alapja az, hogy a *ferromágneses anyagok mágneses permeabilitása a levegőéhez képest ezerszeres*, és így a bennük jelenlevő minden folytonossági hiány ezerszeres ellenállást jelent a mágneses erővonalak útjában. Ha a repedés a felületen vagy annak közelében van, annak ellenállása oly nagy lehet, hogy az erővonalakat a tárgyból a levegőbe való kilépésre kényszerítheti, és a repedést közvetlenül környező levegőben szórt mezőt létesít. A szórt mező erővonalai mintegy áthidalják a repedést. Ennek a szórt mezőnek mágneses erővonalai vonzzák magukhoz és irányítják útjukkal párhuzamosan a ferromágneses porszemcséket, és így azok a repedés felett való összesűrűsödéssel jelzik a repedést.

A mágneses erővonalak azonban irányukból csak akkor térnek ki észrevehető mértékben, ha a repedés hosszukra merőleges, illetve azzal egy bizonyos szögnél nagyobb szöget zár be. Erővonalakkal párhuzamos repedést a mágneses repedésvizsgálat nem mutat ki. Ebből következik a mágneses repedésvizsgálat célszerű végzésének az az alapszabálya, hogy a vizsgálandó tárgyakat többirányú, de legalább két, egymásra merőleges irányú mágneses mezővel kell gerjeszteni.

A vizsgálat érzékenysége a vizsgált darab mágneses telítésének a határáig a gerjesztés nagyságától függ. A darab ép keresztmetszetének telítése fölé nem szabad menni a gerjesztéssel, mert túltelítés esetén az erővonalak az ép darabból is kilépve szórt mezőket létesítenek és hamis hibajelzéseket okozhatnak.

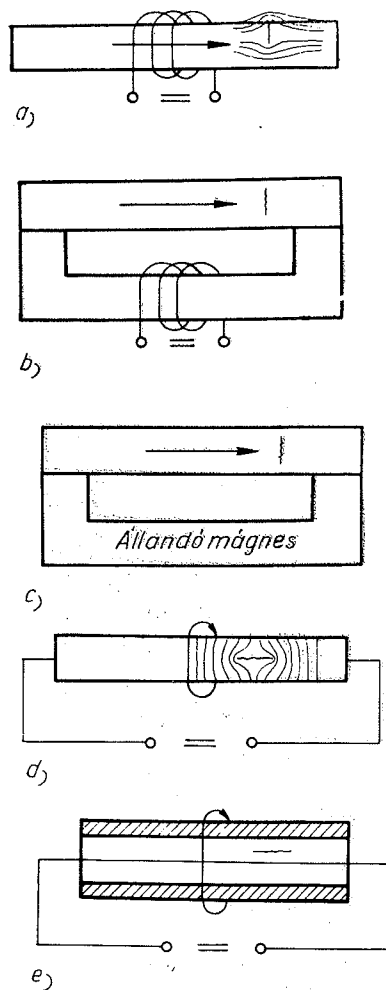
A mágneses repedésvizsgálat indikációinak, jelzéseinek értékelése éppen az ún. *hamis indikációk* kizárásával kell, hogy kezdődjék. Mágnesvasporos tömörüléseket mutat ugyanis minden éles karc, esztergakésnyom, sőt a fényes fémes felületen nyom nélkül maradt ferromágneses anyaggal készített vonás is. Hasonlóképpen jelentkezik a mágnespor lerakódás a paramágneses vagy diamágneses anyagok határán is, pl. a keményforrasszal hibátlanul megforrasztott öntöttvas forrasztási helye úgy jelentkezik, mint durva repedés. Az indikációk annál biztosabbak, minél simább fémtiszta a felület. A repedések akkor ismerhetők fel a legkönnyebben, ha azok interkristallin jellegűek, tehát nem nyílegyenes vonalak, hanem töréspontokkal rendelkezők.

A mágneses repedésvizsgálat sikerének 4 követelménye van: *a)* a vizsgálandó tárgynak mágnesezhetőnek, ferromágnesesnek kell lennie. Ilyenek a vasötvözetek, nikkal és kobalt. Nem alkalmasak e vizsgálatra az austenites acélok, amilyen a 18/8 CrNi és a 12%-os Mn-acél, az Al, a Cu és ötvözeteik. — *b)* A mágnesezést megfelelő irányban, illetve több irányban kell végezni. — *c)* Megfelelő finomságú ferromágneses indikációszerrel kell használni. — *d)* Az indikációkat gondosan, kellő gyakorlatlallal kell értékelni.

A mágnesező áram 2—20 V feszültségű és a vizsgálandó darab keresztmetszetétől függően 20—1000 A egyenáram, lökésszerű felmágnesezésben 5000 A váltóáram. Utóbbi esetben a szükséges szórt mezőt a vizsgált darabban visszamaradt ún. remanens mágnesség szolgáltatja.

A mágneses repedésvizsgálathoz használt áramforrás lehet: motorgenerátor, pl. egyenáramú hegesztőgépcsoport dinamójának hegesztőárama; transzformátorok váltóárama, lökésszerű felmágnesezéshez megfelelő gyors árammegszakítóval; a legalkalmasabb a csöves egyenirányítóval kapcsolt transzformátor. Az ilyen gépcsoport mágneses repedésvizsgálathoz olyan önműködő kapcsolóval van felszerelve, hogy 3—5 s-ig 3000—5000 A-t ad, majd átvált az 1000—1200 A-es állandó áramszolgáltatásra; alkalmi, tehát nem állandó vizsgálatra szolgáló akkumulátortelep. Előnye, hogy hordozható. Egy-egy cella 300—400 A-t tud rövid ideig leadni és így párhuzamos kapcsolással igen nagy áramerősséget lehet nyerni; és végül kis tárgyak sorozatos vizsgálatára alkalmazható az állandó mágnes is.

A mágneses repedésvizsgálat végezhető oly módon, hogy a mágneses teret ger-



362. ábra. A mágneses repedésvizsgálat mágneses erővonal gerjesztésének néhány módszere:

a) külsőgerjesztés tekercsel, b) mágnesező ígával, c) állandó mágnessel, d) rúdon közvetlenül, e) csövön kábellel átvezetett egyenárammal. A nyílak a mágneses erővonalak irányát mutatják

jesztő áramot közvetlenül vezetik be a vizsgálandó ferromágneses tárgyba. Az így bevezetett áram csak az önmagával párhuzamos repedések kimutatására alkalmas, mert hiszen az általa gerjesztett mágneses mező erővonalai merőlegesen az áram irányára. Ezt a szempontot kell figyelembe venni a vizsgálatnál és a mágnesezés irányát az árambevezetéssel tapogatósszerűleg kell változtatni. A közvetlen árambevezetéssel végzett vizsgálatnál gondoskodni kell az árambevezetés helyein a tökéletes fémes érintkezéstről, mert ellenkező esetben keltett ívek a vizsgált tárgy meghibásodását okozzák.

A kimutatható hiba mérete 40 A-menet/cm esetén egy mikron és 90 A-menet/cm gerjesztésnél 0,1 mikron. A 362. ábra a mágnesezés néhány módszerét mutatja a mágneses repedésvizsgálatnál.

### 28.2. Penetráló folyadékvizsgálat

A felületig terjedő repedések kimutatására használják a *penetráló folyadékvizsgálatot*, amelyet a fluorescens folyadék használata esetében fluoreszkáló folyadékvizsgálatnak is hívnak. E hibakereső vizsgálat alapelve, hogy a repedésbe jó behatoló képességű olajat szívnak a repedés kapilláris tulajdonságaival. A felület letisztítása után a repedésből kiszivárgó olaj fluoreszkáló fénye vagy színe, vagy a felületre felvitt réteg elszíneződése útján jelzi a repedést.

E vizsgálat válfaja a hegesztővarratok átmenő repedéseinek vagy pórusainak kimutatására használt ún. *petróleumpróba*. Ezt úgy végzik, hogy a varrat felületét kréta- vagy vízoldattal bemázolják, megszáritják, és a varrat visszaját finomított petróleummal bekenik. Az átmenő folytonossági hiányokon átszivárgó petróleum a fehér kréta- vagy vízoldattal sötétre színezi és ezzel a hibahelyet jelzi.

A fluoreszkáló folyadékvizsgálat kelléke olyan, jó behatoló képességű olaj, amely

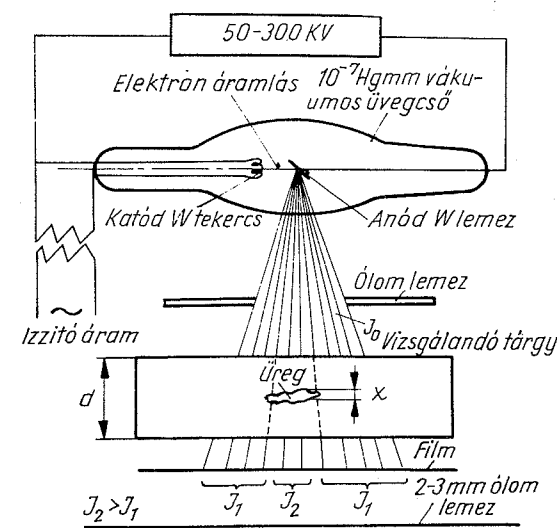
ibolyántúli sugarakkal besugározva fluoreszkál, vagy olyan por, amely a kiszivárgó olaj hatására sugárzás nélkül is élénk színt vesz fel. A vizsgálat menete: 1. A vizsgálandó felületet megtisztítják az olajtól és szennytől. 2. A tárgyat bemártják a jó behatoló képességű olajba, vagy felületét bekenik azzal. 3. Egy kis idő múlva a felületet ledörzsölik vagy vízzel lemossák. 4. A vizsgálandó felületet megszáritják. 5. Fluoreszkáló port szórnak rá, mely az olajat a repedésekből kiszívja. 6. Besugározzák ibolyához közeli sugarakkal, pl. kvarclámpával. Ha a por magától az olaj hatására elszínezedik, ez a vizsgálat bárhol elvégezhető. Természetesen előnye még, hogy ezzel a vizsgálatnál bármilyen anyag felületéig kiérő repedése felderíthető.

### 28.3. Röntgen hibakereső vizsgálat. Izotóp vizsgálat

A röntgensugarakkal végzett hibakereső vizsgálatokat kész szerkezetek belső folytonossági hiányainak, nem fémes záródmányok, gázhólyagok, lunkek, repedések, hegesztési hibák kimutatására használják. A röntgensugár-vizsgálatnak, az ún. *radiografiai vizsgálatnak* alapja az, hogy a  $10^{-0,1}$  Å hullámhosszúságú röntgensugarak az anyagon áthaladva abban különböző mértékben nyelődnek el. Az így átvilágított tárgy hátlapjára helyezett érzékelő ernyőn vagy filmen a változó sugárintenzitás világos, illetve sötét voltokat okoz a hibahelyek lenyomatán.

A röntgensugaras vizsgálati eljárásnak általános elrendezését a 363. ábra mutatja. Az üvegből készült röntgensugárkészítő belsejében  $10^{-7}$  torr (Hg mm) vákuum van. A kifestőárammal az izzított katódként szereplő wolframspirálisból elektronok lépnek ki és a rákapcsolt nagyfeszültségű (50–300 KV) áram hatására nagy sebességgel ütköznek fel a W-lemezből készült vetítő tükröként szolgáló anódon. Itt kinetikai energiájuk nagyrésze hővé alakul, kisebb része röntgensugarak alakjában hagyja el a csövet.

A röntgen sugárnyaláb útjába helyezett tárgyak a röntgensugarak egy részét elnyelik, egy másik részét szétszórják, megmaradó része a sugaraknak kilép a tárgy hátsó lapján.



363. ábra. A röntgensugár-vizsgálat általános elrendezése

A röntgensugár intenzitásváltozása a tárgyon való áthaladás közben

$$I_1 = I_0 e^{-\mu d} \quad (97)$$

képlettel fejezhető ki, ahol  $I_0$  a felületre érkező intenzitás mérőszáma,  $I_1$  a tárgyat elhagyó röntgensugár intenzitása,  $e$  a természetes logaritmus alapja,  $\mu$  a *gyengülési együttható* és  $d$  a vizsgált tárgy vastagsága.

A röntgensugár homogénnek feltételezett tárgyon való áthaladása közben annak minden hosszegységén kb. egyforma mértékben gyengül. A röntgensugárzás intenzitásának csökkenése tehát elsősorban az átvilágított tárgy vastagságának a függvénye. A *gyengülés függ az anyag sűrűségétől és rendszámától*. E két jellemző növekedésével a gyengülés is nő. Ez a fizikai törvényszerűség az alapja a hibakereső röntgensugár-vizsgálatnak. Ugyanis a fémes anyagokban található hibahely anyaga, a gáz vagy nemfémes záródmány lényegesen kisebb sűrűségű és kisebb rendszámú, mint a fém. Az ilyen hibahely gyengülési tényezője tehát a féméhez képest elhanyagolható, ami annyit jelent, hogy a hibahelyen áthaladó röntgensugár intenzitásából nem vagy alig veszít. A hibás helyen áthaladó röntgensugár távozó intenzitása:

$$I_2 = I_0 e^{-\mu(d-x)} \quad (98)$$

ahol  $x$  a hibának sugárirányú mérete.

A hibás hely mögött tehát nagyobb lesz a sugárintenzitás, ami az érzékelő szerven (képernyőn, filmen) megvilágítás-különbséget, kontrasztot hoz létre. A filmen jelentkező feketedéskülönbség a hibás helyen és az ép helyen áthaladó sugár kilépő intenzitásának viszonyszámával jellemezhető:

$$\frac{I_2}{I_1} = e^{\mu x} \quad (99)$$

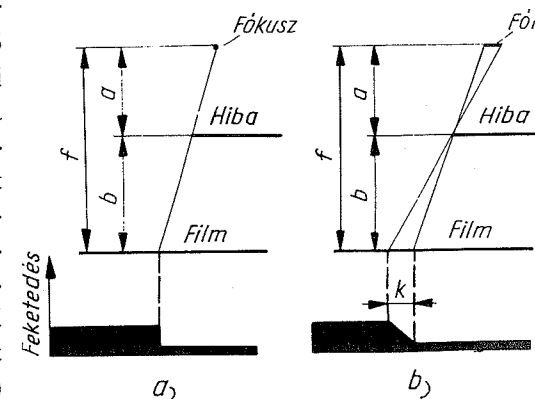
A sugárkontraszt tehát annál nagyobb, minél nagyobb a gyengülési együttható és minél nagyobb a hibának sugárirányú mérete. Ebből következik a röntgen- és a  $\gamma$ -sugár-vizsgálat ama jellege, hogy *csak a sugárással közel párhuzamos repedést jelez*.

A röntgensugár-vizsgálatnál a minél kisebb hiba kimutatásának érdekében arra kell törekedni, hogy a gyengülési együttható minél nagyobb legyen. Ekkor lesz ugyanis a kontrasztot jellemző  $e^{\mu x}$  érték kis  $x$  mellett is elegendő nagy. A gyengülési együttható két tényezőtől áll: egy elnyelési és egy szóródási tényezőtől. A röntgensugárnak az anyagon való áthaladása közben az atomokkal történő ütközése egy részét lefékezi, elnyeli, más részét az ütköző atomok helyzetének megfelelő különböző irányban visszaveri, szórja, és csak a harmadik része halad át és vesz részt a hiba kimutatásában.

A *gyengülési tényező* a sugár hullámhosszától függ, éspedig *annál nagyobb, minél nagyobb a röntgensugár hullámhossza*. A hosszú hullámú röntgensugarat lágynak, a rövid hullámhosszúkat keménynek nevezik. Jó kontrasztot akkor érnek el, ha lágyszugárzást használnak. Ennek a röntgeni csőerjesztésénél kis csőfeszültség

felel meg. A lágyszugárzás azonban hosszabb expozíciós időt igényel. Azért a gyakorlati röntgenvizsgálatnál az ellentétes követelmények között kompromisszumot kell kötni. A nagyfeszültségű, kemény röntgensugár áthatolóképesebb, tehát vastagabb fém vizsgálatára alkalmasabb, de az ilyen röntgensugárnál a  $\mu$  kicsi, tehát egy bizonyos hiba által okozott feketedés kicsi, a hiba nehezen felismerhető. Ha viszont a csőfeszültség kicsi,  $\mu$  nagy, a hibafelismerés jó, de az átvilágíthatóság (falvastagság) kicsi, és az expozíció ideje hosszú.

A röntgenvizsgálattal kimutatható hiba leglényegesebb kelléke a feketedéskülönbség. Van azonban a hibakimutatásnak geometriai feltétele is. A hiba éles szegélyek



364. ábra. A fókusz méretének hatása a kép élességére

mutatkozik, ha a röntgenső anódlemeze (fókusz) egész kicsi (pontoszerű). A valóságban a röntgenső anódlemeze mérete rendes körülmények között mm nagyságrendű. Mivel röntgensugár a fókusz minden pontjából kiindul, a 364b) ábra szerint a hiba szegélye  $k$  szélességű átmenetet mutat. Ez az átmenet a film és a hiba távolságának  $b$  növekedésével nő. A kép élességét fokozni lehet a fókusz és a tárgy közötti távolság ( $a$ ) növelésével és a fókusz méretének csökkentésével. Pontoszerű, finomfókuszú röntgenső anódmérete kb. 0,2 mm.

A röntgenvizsgálat hibakimutatása ritkábban fluoreszkáló ernyőn, rendszeren röntgenfényképezés útján történik. A fluoreszkáló bárium-platin-cianür vagy cinkszulfáttal bevont ernyőn való felfogást csak könnyűfémek vizsgálatára alkalmazzák, mert itt még 50 mm vastag fal 5%-át kitevő hibamélység felismerhető. Acéloknál 10 mm falvastagság csak 8%-os hibamélységet tesz felismerhetővé az ernyőn. Ezért az acélok röntgenvizsgálatainál mindig a fényképezést alkalmazzák. Ez drágább, több időt igénylő, de pontosabb értékelést lehetővé tevő, és bizonylatot szolgáltatató vizsgáló eljárás.

A röntgenfényképezés alapelve az, hogy ha a zselatinban eloszott brómezüstöt tartalmazó fényérzékeny réteget éri a sugárzás, akkor a nagyobb sugárintenzitással megvilágított brómezüst a hívóban gyorsabban redukálódik fémezüstté, mint a kisebb intenzitást kapott szemcsék. A meg nem világított, sugár által nem ért szemcsék nem redukálódnak és a fixáló fürdőben kioldódnak. A film feketedésének mértékét a film átvilágítására használt beérkező sugár és a távozó sugár intenzitáshányadosának a logaritmusával adják meg. A feketedés mértéke

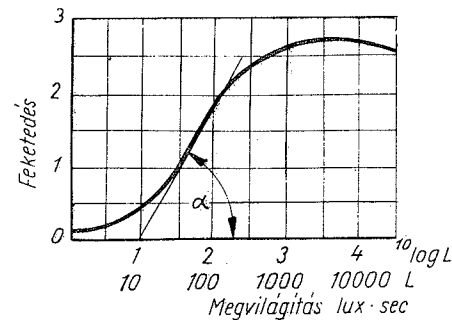
$$S = \log \frac{L_0}{L_1} \quad (100)$$

A megvilágítást a filmet érő fényerősség és a megvilágítás idejének szorzatával jellemzik:

$$L = Ii \text{ lxs,}$$

ahol  $L$  a fénybesugárzás,  $I$  a fényerősség (lux = lx),  $i$  idő (s).

A film feketedésének nagysága és a megvilágítás közötti összefüggést a film minőségét jellemző ún. *gradációs görbe* adja meg. Egy ilyen gradációs görbét mutat a 365. ábra. A diagram függőleges tengelyére a feketedést jelző  $S$  lineáris léptékben, vízszintes tengelyére a megvilágítást ( $L$ ) log léptékben visszük fel. A diagram szerint például  $S = 2$  olyan fedettséget jelent, melynél a beérkező fénysugár kilépésekor erősségének kevesebb, mint századrésze csökken.



365. ábra. Egy röntgenfilm gradációs görbéje

A gradációs görbe jellemzésére a  $\gamma = \text{tg} \alpha$  értéket szokták, mint jellemző értéket, megadni. Minél meredekebb az egyenes szakasza, annál nagyobb lesz egy adott

$\Delta L$  megvilágításkülönbséghez tartozó  $\Delta S$  feketedési különbség.

A röntgensugarak hatása a film fényérzékeny rétegére lényegében abban tér el a fénysugár hatásától, hogy a film fényelnyelő-képessége lényegesen nagyobb, mint röntgensugár elnyelő-képessége. Tehát a filmen áthaladó röntgensugár kismérvű gyengülést szenved. Ez a jelleg lehetővé teszi a hiba kimutatására szolgáló kontraszt kétszeresére való növelését oly módon, hogy a röntgenvizsgálathoz olyan filmeket használnak, amelyek mindkét oldalát ellátják fényérzékeny réteggel.

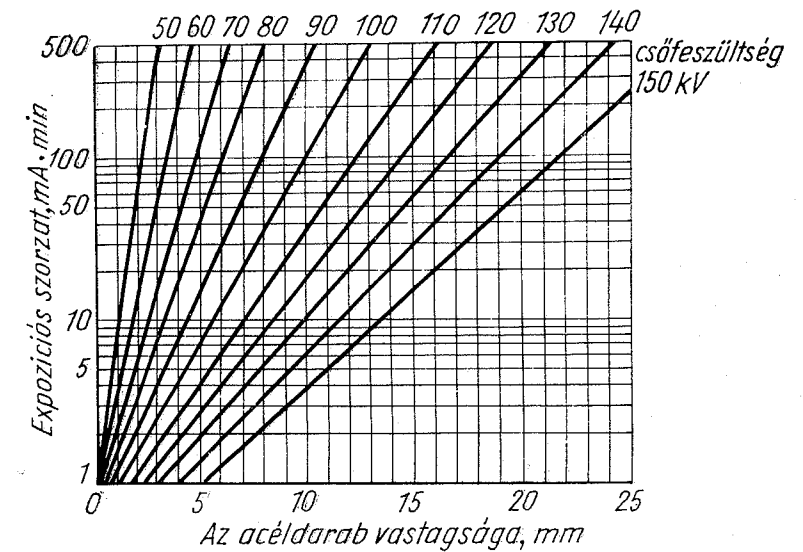
Minél keményebb a röntgensugár, annál kisebb a filmben elnyelődő sugárenergia. Ezért a röntgenvizsgálatnál főleg a keményebb sugárforrásoknál ún. *erősítő fólia* használata szükséges. Ezek kalcium-volframáttal bevont kartonlapok, amelyeket a film mindkét oldalára helyezve szorítanak rá az átsugárzott anyag hátoldalára. A kalcium-volframát röntgensugár hatására intenzív kék fényt bocsát ki és ezzel a feketedést növeli a hiba helyén.

A röntgenvizsgálat eredményességét, a hibakimutatás lehetőségét a helyes expozíció-idő szabja meg. Az exponálási idő kiválasztására olyan diagramok szolgálnak, amelyek a sugármennyiséget a mA-ben kifejezett csőterhelés és a percekben kifejezett expozíciós idő szorzataként tartalmazzák. Egy ilyen diagramot mutat a 366. ábra. Ez a diagram 50 cm fókusztávolságra erősítő fóliák nélkül érvényes. Kétoldali erősítő fólia az expozíciós időt egy tizedére csökkenti.

A röntgenfilm kontrasztossága igen nagy mértékben függ az előhívására használt vegyszertől és annak hőmérsékletétől. Leghelyesebb a filmgyártó cég által ajánlott előhívót használni. Az optimális hívási idő 18 °C hőmérsékletű előhívónál kb. 7 perc szokott lenni. Az előhívó hőmérsékletének növekedése az optimális hívási

időt csökkenti. A hívási idő hatással van a film feketedésére, túl hosszú hívási idő a film teljes felületét borító ún. fátyolfeketedést növeli, a film értékelési lehetőségét csökkenti és így kerülendő.

A röntgenfilmen jelentkező hiba méretét (vastagságát) ún. huzalsorral ellenőrzik. A *huzalsor* gumilemezek közé ágyazott 7 db különféle átmérőjű huzal. A huzalok anyaga megegyezik a tárgy anyagával. Vannak Fe, Cu és Al jelű huzalsorok az acél,



366. ábra. Az expozíciós adatok meghatározására szolgáló diagram acélnál erősítő fóliák nélküli felvételhez

a réz és az alumíniumötvözetek hibajelzésére. A huzalsort mindig a tárgy és a film közé kell helyezni. A felvételen kivehető legkisebb hiba mérete a még látható legvékonyabb huzal átmérőjének felel meg.

A röntgenfelvételt minősíteni szokták a legkisebb kimutatható hiba nagyságának az átvilágított vastagsághoz való viszonyítása útján. A huzal-felismerhetőség

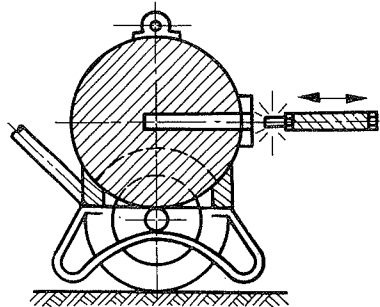
$$HF = \frac{\text{még látható legvékonyabb huzal } \varnothing \text{ mm}}{\text{anyagvastagság mm}} \cdot 100 \%$$

nagyságával jellemzik a röntgenfelvétel minőségét. Pl. elsőosztályú az a felvétel, amelynél 51—100 mm közötti falvastagságról készített felvételen  $HF = 1,2\%$ , másodosztályú, ha ugyanerről a  $HF = 2\%$ .

*Izotópvizsgálat.* Radiografiai vizsgálatokhoz a röntgensugárzáson kívül használják még egyre kiterjedtebb mértékben a *gamma*sugárzást is. A gamma sugarak nem stabil atommagok stabil állapotba való átmenete közben keletkeznek úgy, hogy sugárzás formájában energia szabadul fel. Ilyen gamma sugárzás keletkezik termé-

szetes radioaktív anyagok, pl. rádium stabilabb állapotba való átmenete közben. A radiografiai vizsgálatokhoz azonban sosem használnak természetes radioaktív anyagot, mert azok egyrészt ritka előfordulásuk miatt drágák, másrészt pedig kicsi az aktivitásuk. A gammasugár vizsgálatokhoz mindig *mesterséges radioaktív izotópokat* használnak. Ezeknek előnye, hogy a szükséges nagyságú aktivitással lehet őket előállítani, és hogy viszonylag kisméretűek, tehát olyan szűk helyre is eljuttathatók, ahová röntgensóvel beférni nem lehet. Előnyük még, hogy nincsenek áramforráshoz kötve és így tetszőleges helyen való átvilágításra használhatók fel.

Az izotópok a periódusos rendszer azonos helyén levő különböző tömegszámú elemek, amelyek neutronszáma protonszámával nem egyezik. Ilyen izotópokat



367. ábra. Izotóp munkatároló  
(Csepeli izotóplabor)

mesterségesen úgy állítanak elő, hogy az elemet atomreaktorban neutronsugárzásba helyezik. A neutronsugárzásban az elem atommagjai neutronokat vesznek fel, és az így keletkezett izotóp instabil állapotba kerül. A stabil állapot felé való törekvés közben fölös energiáját sugárzás alakjában adja le. Ezt a sugárzást használják fel átvilágításra. Az anyagvizsgálatnál leggyakrabban használt izotópok a Co-60 és az Ir-192. A különböző izotópokra jellemző az az idő, mialatt az aktivitásuk a felére csökken. Ezt az időt nevezzük a radioaktív elem felezési idejének. A Co-60 esetében a felezési idő 5,3 év, az

Ir-192-nél 74 nap. Az izotópok tehát használat nélkül, pusztán tárolás alatt veszítenek energiájukból.

Az izotópos sugárvizsgálat elveiben azonos a röntgenvizsgálattal. Állandó sugárzásuk miatt az izotópokat gondosan el kell zárni az ún. izotóptartókban; ezek rendszeren ólomból készült gömb alakú tartályok, amelyeknek a közepén van elzárva a sugárzó izotóp (367. ábra). Szokás a nagyobb, nehezebb tárolótartó mellett könnyebb, kisebb munkatartót is használni. Ezek csak egy adott távolságig és ideig közelíthetők meg használat közben. Az izotópos vizsgálatok technikájában fokozott mértékben kell betartani a sugárvédelmi intézkedéseket.

Az izotópos vizsgálati technika általában abban különbözik a röntgenvizsgálat technikájától, hogy nagy energiájú kemény sugárzásra érzékeny filmeket (pl. Agfa-Texó F) használnak és hosszabb expozíciós időket alkalmaznak. Az izotópos vizsgálattal készült filmek általában kontrasztszegényebbek. Ez a kis hibák kimutatására káros, de előnyös akkor, amikor nagy falvastagság-különbségek fordulnak elő a vizsgált tárgyban. 100 mm-nél vastagabb falú acélöntvényekben előforduló lunkerek felderítésére az izotópos vizsgálat alkalmasabb a röntgenvizsgáltnál. Nagy előnyük, hogy izotópokkal ún. panoráma-elrendezésű felvételeket lehet egyetlen expozícióval készíteni. Ezeket a felvételeket úgy készítik, hogy egy középpont köré 1—2 m sugáron helyezik el a vizsgálandó öntvényeket a vizsgált hely

hátlapjára felerősített filmekkel. A felvételnél az izotópot a tároló vagy munkatartályból manipulátorokkal kivéve a középpontba állítják az expozíciós ideig.

*Sugárvédelem.* A röntgen- és az izotópsugárzás az emberi szervezetre káros elváltozásokat okozhat. Ezeket általában sugárártalomnak nevezik. Jellegzetességük, hogy azonnal nem észlelhetők, hanem csak hosszabb idő után jelentkeznek káros következményük. Veszélyességét fokozza, hogy a sugárzás hatása idők folyamán a szervezetben összeadódik, akkumulálódik. A sugárártalmat nem lehet kiheverni, belőle nem lehet kigyógyulni, azért fontosak a vonatkozó szigorú előírások, amelyek az MSZ 62—61-ben találhatók.

## 28.4. Ultrahangvizsgálat

Az *ultrahangvizsgálat* nyomáshullámok terjedését és a közeg határfelületeiről való visszaverődését használja fel belső folytonossági hiányok, repedések, záródmányok stb. felderítésére. Az ultrahang a hallásküszöbnél nagyobb frekvenciájú, 0,25 MHz—20 MHz (250 000—20 millió/s) frekvenciájú hullámzást jelent. Az ultrahangvizsgálatnál főleg hosszirányú (longitudinális) rezgéseket alkalmaznak. Egyidőben keletkeznek azonban keresztirányú (transzverzális) rezgések is.

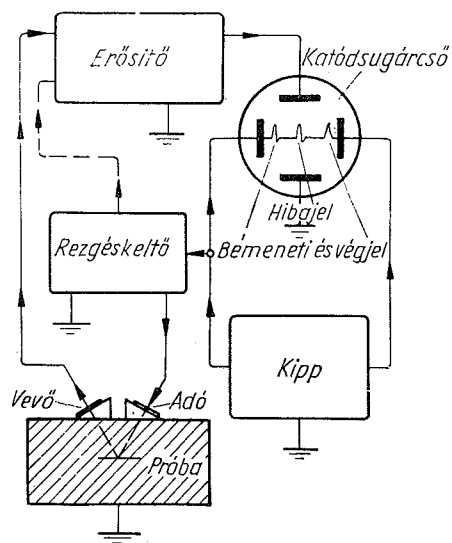
A longitudinális ultrahangrezgések acélban 5920 m/s sebességgel terjednek, és így igen nagy vastagságú fémtárgyak vizsgálatára alkalmasak. Levegő vagy nemfémes záródmányok az ultrahanghullámok számára olyan nagy akadályt jelentenek, hogy azok felületéről teljes egészükben visszaverődnek. Ez a magyarázata az ultrahangvizsgálat ama jellegének, hogy a röntgenvizsgálattal ellentétben a hullámzásukra *merőleges irányban elhelyezkedő legvékonyabb (1 mikron vastagságú) repedésre is reagál.*

Az ultrahanghullámokat a piezo-elektromosság jelenségének felhasználásával állítják elő. A piezo-elektromos kristályoknak az a tulajdonsága, hogy változó elektromos tér hatására térfogatukat változtatják. Ezzel elektromos hullámokat mechanikai rezgésekké lehet átalakítani. A hatás megfordítható: a mechanikus rezgésbe hozott piezo-elektromos tulajdonságú kristály egy bizonyos frekvenciájú elektromos hullámokat kelt. A legjobb hatásfokú energia-átalakítás akkor következik be, ha a mechanikus rezgések megközelítik a kristály önrezgésszámát. Ebben az esetben a kristály rezonanciába kerül.

Ultrahangvizsgálatokra majdnem kivétel nélkül kvarckristályokat használnak. A kvarckristályból kristálytanilag pontosan meghatározott irányban metszik ki a párhuzamos felületekkel határolt kristálylapot, amely az ultrahangvizsgáló készülék fejébe szerelve a felületeire vezetett nagyfrekvenciás áram hatására váltakozva kap ellenkező előjelű töltéseket és így mechanikus rezgésbe jön. E rezgést megfelelő kapcsoló közeg: víz vagy olaj közvetítésével átadjuk a vizsgálandó tárgynak, melyben a longitudinális ultrahanghullámok majdnem párhuzamos irányban terjednek. A vizsgált anyagon áthaladó hullámokat vevőfejjel foghatjuk fel, melynek beren-

dezése azonos az ultrahang-rezgéseket keltő adófejjel. A vevőfej kristálya az anyagtól átvett mechanikus rezgéseket nagyfrekvenciás elektromos rezgésekre alakítja át amelyeket elektronikus erősítő útján katódsugárcsőbe vezetve tudjuk észlelni a folytonossági hiányokat.

Az ultrahangvizsgáló berendezés általános elrendezési rajzát a 368. ábra mutatja.



368. ábra. Ultrahangvizsgáló berendezés általános elrendezése

Az ultrahangvizsgálatnál alkalmazott frekvenciaszámot a vizsgált anyag minősége határozza meg. Az ultrahanghullámra érvényes a hullámzás szabálya:

$$v = \lambda f, \quad (102)$$

ahol  $v$  az ultrahanghullám terjedési sebessége a vizsgált közegben,  $\lambda$  a longitudinális hullám hossza mm,  $f$  a frekvencia  $s^{-1}$ .  
Ha  $f = 0,25$  MHz, akkor

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5\,920\,000}{250\,000} = 23,7 \text{ mm}$$

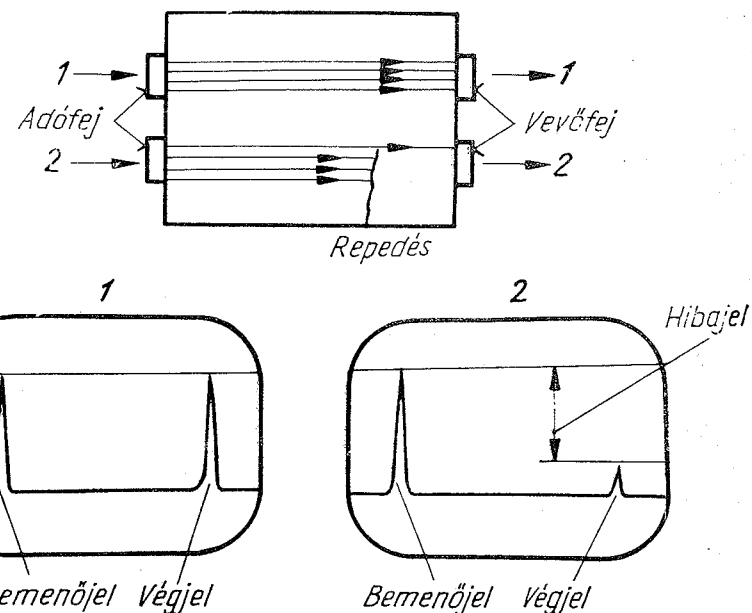
Ha  $f = 6$  MHz, akkor

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{5\,920\,000}{6\,000\,000} = 1 \text{ mm.}$$

A nagyfrekvenciájú hullámok sokkal erősebben csillapodnak, mint a kisfrekvenciájúak. Ezért a 4–6 MHz frekvenciájú hullámok az öntöttvas grafitlemezein teljesen elülnek. Öntöttvasat ezért 0,25–0,75 MHz frekvenciával vizsgálják. Hasonlóképpen a durvaszemcsés kristallitok is nagy csillapítást fejtenek ki. Rezet és austenites acélt ugyancsak kisfrekvenciájú ultrahanghullámokkal vizsgálunk.

Az ultrahangvizsgálatoknak két alapvető eljárása fejlődött ki: átsugárzásos módszer, és az impulzus-visszhang módszer. Az átsugárzásos vizsgálati módszer elvét a 369. ábrán mutatjuk be. E módszernél két azonos fejre van szükség, melyek közül az egyik az ún. adófej, a vele szemben levő és vele azonos másik fej az ún. vevőfej. Az ultrahanghullámokat keltő adófejből a vizsgált anyagba belépő ultrahanghullámok a berendezés katódsugárcsővének képernyőjén egy bemenő jelet adnak. A tárgyból akadálytalan áthaladás után kilépő hullámok a vevőfejbe belépve ott ismét villamos rezgéssé alakulnak és egy végjelet adnak a képernyőn.

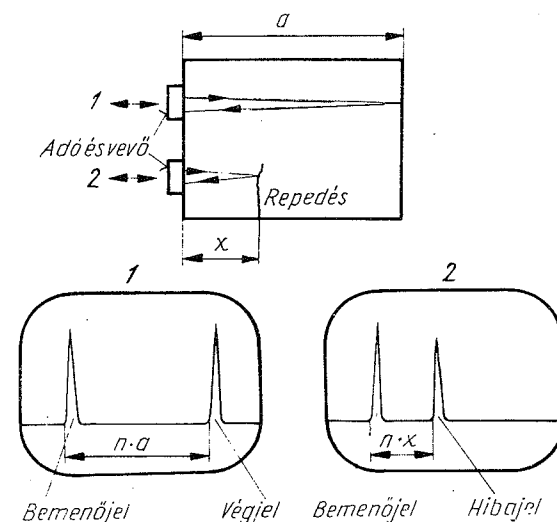
Ha a tárgyban haladó ultrahanghullámok útjába valamilyen hiba kerül, amely a hullámok egy részét visszaveri, akkor a katódsugárcső ernyőjén jelentkező végjel kisebb lesz, mert a vevőfej kevesebb ultrahangenergiát kap. Ha a hiba olyan nagy, hogy az adóból indított hullámok útját teljesen elállja, akkor a vevőfej nem kapva energiát, a végjel elmarad. Az átsugárzásos vizsgálati módszernél tehát a hiba indi-



369. ábra. Ultrahangvizsgálat átsugárzásos módszere és katódsugárcsöves indikációja

kálási kimutatási módja a végjel csökkenése, illetve eltűnése. Ezt a vizsgálati módszert csak akkor használhatjuk, ha a vizsgálandó darab mindkét oldaláról hozzáférhető. Feltétele két ultrahangfej, és a határoló felületek párhuzamossága. A hiba helye (mélysége) ezzel az eljárással nem állapítható meg.

Az impulzusvisszhang eljárás egyetlen fejet alkalmaz. A fej  $10^{-4}$  s ideig (4–5 hullám) bocsát ki ultrahanghullámokat, ezután mint vevőfej dolgozik és a határfelületekről visszavert hullámokat villamos rezgésekké alakítja. A katódsugárcsővön a rezgések kibocsátásától a visszhangok visszaérkezéséig eltelt idő megállapítható. A terjedési sebesség ismeretében kiszámítható az ultrahanghullámok által megtett út. Korszerű készülékek katódsugárcsővein az időlépték helyett mindjárt az anyagvastagság léptéke szerepel, a különböző anyagokban való terjedési sebes-



370. ábra. Ultrahangvizsgálat impulzusvisszhang módszere és katódsugárcsöves indikációja



ségnek megfelelően változó léptékben. Az impulzusvisszhang eljárás tehát tulajdonképpen az ultrahanghullámok megtett útjának mérése. Ebből következik, hogy ez a módszer a hiba helyének meghatározására, valamint anyagvastagság mérésére egyaránt jól felhasználható.

Az impulzusvisszhang eljárás vizsgálati elvét a 370. ábra mutatja be. Az ábrán az 1 számú készülék hibátlan helyen a vizsgált anyag vastagságát méri. A 2 számú hely az összes hullámok visszaverődése miatt végjelet nem mutat, és a hibahely távolságával megadja a repedésnek a helyét.

Az impulzusvisszhang eljárás előnyei: egyetlen ultrahangfej elegendő hozzá, a vizsgálatot egy oldalról lehet végezni, és a hiba mélysége a katódsugárcső ernyőjén leolvasható. Hátránya viszont, hogy a hullámokra nem merőleges felületekről visszavert hullámok nem foghatók fel, és hogy ismerni kell a vizsgálandó darab geometriai alakját, a hibalehetőségek fajtáját ahhoz, hogy helyesen értékeljük az indikációt.

Az ultrahangvizsgálat korszerű eljárása a hibakereső anyagvizsgálatoknak, amelyet gyakran használnak a röntgenvizsgálatok költségeinek csökkentésére oly módon, hogy ultrahanggal tárják fel a hibák helyét, és az ultrahanggal indikált hibákat röntgenfelvétellel ellenőrzik. Az ultrahangvizsgálat legnagyobb hátránya, hogy a mutatkozó jelek helyes értékeléshez nagyon nagy gyakorlatra van szükség, így az sok zavar, tévedés és ellentmondás forrása lehet.

### 29.1. A korrózió fogalma és fajtái

Korrózió alatt a fémek kémiai vagy elektrokémiai hatás és folyamat útján bekövetkező roncsolását értjük. A korrózió közben az a színtém, amely a kohászati folyamatok során az ember átalakító tevékenysége következtében oxidjából, szulfidjából, karbonátjából vagy egyéb vegyületeiből redukálódott színtémé, újra átalakul ezen vegyületek valamelyikévé. A korrózió mindig oldás és oxidációs folyamat, vagy a kettő kombinációja útján jön létre.

A korróziós folyamatok fajtáinak rendszerbe foglalásánál több rendező elv is szerepelhet. Az egyik a fémek roncsolódását okozó hatások jellege. Eszerint megkülönböztetünk kémiai korróziót; elektrokémiai korróziót; és feszültség-korróziót.

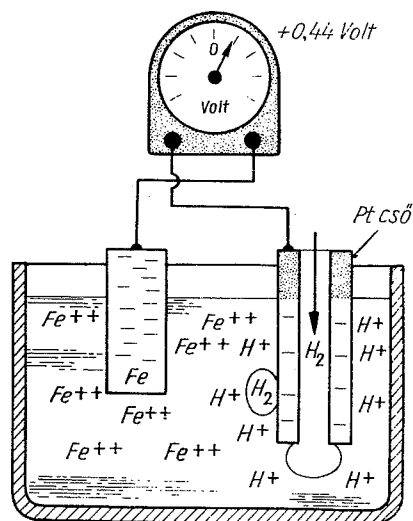
A kémiai korrózió az elektrolit nélkül lefolyó korrózió, amely fémnek gázzal vagy dielektrikus folyadékkal (pl. benzinnel) való érintkezésekor jelentkezik.

Az elektrokémiai korrózió mindig elektrolit jelenlétében folyik le és legfontosabb jellemzője, hogy a fém ionjai az elektrolitba oldatba mennek.

A közvetlen oxidáció útján végbemenő korrózió rendszeren nagyobb hőmérsékleten oxidréteg képződése revésedés közben folyik le. A vas és acél nedves levegőn vagy oxigéntartalmú vizes oldatban lefolyó korrózióját pedig rozsdásodásnak nevezik, ennek korróziós terméke a rozsdá, vashidroxid.

A fématomok oldódása közben elektronjaik az oldatba ment ionjuktól szétválnak és ezáltal egy ún. *elektrodapotenciál* keletkezik. E potenciál nagysága és előjele a fémnek és az oldatnak a minőségétől függ, de még egy fémnek különböző helyei is különféle sebességgel mennek oldatba. Pl. a szemcsehatáron levő rendezetlen nagyobb energiájú atomok könnyebben oldódnak, mint a térrácsba illeszkedő orientált atomok.

Az elektrodapotenciált a hidrogénéhez viszonyítva mérik. A vas potenciálját a 371. ábrán vázolt elrendezésben mérve +0,44 V potenciálkülönbség adódik a hidrogénhez képest. Hasonló elrendezésben mérve az ezüst potenciálját, -0,80 V potenciálkülönbség jelentkezik. A Fe-H<sub>2</sub> viszonylatában a Fe-nak nagyobb az elektrodapotenciálja, tehát külső áramkör létesítésekor a Fe fogja elektronjait a külső áramkörbe küldeni. A Fe-H<sub>2</sub> elem párnál tehát a Fe az anód, a H<sub>2</sub> a katód. Az Ag-H<sub>2</sub> elem párnál a H<sub>2</sub> elektrodapotenciálja a nagyobb, és így az Ag a katód.



371. ábra. Az  $Fe^{++}$  vasion elektródpotenciáljának mérése a  $H^+$  hidrogénionhoz képest

Ha külső elektromos vezetést létesítenek egy elektrolitbe merülő két fém között, akkor a nagyobb potenciálú anódból fognak az elektronok a kisebb potenciálú katód felé folyni. Az elektrokémiai korrózió folyamatában tehát nagy szerepet játszik a fémes elemek potenciálkülönbsége. A sorozatban annál nehezebben oldódik, annál nemesebb egy fém, minél kisebb a potenciálja.

Korrózió szempontjából a legfontosabb annak a szem előtt tartása, hogy, egy *elektrokémiai korróziós elempárnál mindig az anódos rész az, amely roncsolódik*, korrodál.

22. táblázat

Fémek elektródpotenciáljai

| Fém-ion            | Potenciál |
|--------------------|-----------|
| Li <sup>+</sup>    | +2,96     |
| K <sup>+</sup>     | +2,92     |
| Ca <sup>++</sup>   | +2,90     |
| Na <sup>+</sup>    | +2,71     |
| Mg <sup>++</sup>   | +2,40     |
| Al <sup>+++</sup>  | +1,70     |
| Zn <sup>++</sup>   | +0,76     |
| Cr <sup>++</sup>   | +0,56     |
| Fe <sup>++</sup>   | +0,44     |
| Ni <sup>++</sup>   | +0,23     |
| Sn <sup>++</sup>   | +0,14     |
| Pb <sup>++</sup>   | +0,12     |
| Fe <sup>+++</sup>  | +0,045    |
| H <sup>+</sup>     | 0,000     |
| Cu <sup>++</sup>   | -0,34     |
| Cu <sup>+</sup>    | -0,47     |
| Ag <sup>+</sup>    | -0,80     |
| Pt <sup>++++</sup> | -0,86     |
| Au <sup>+</sup>    | -1,50     |

Különösen fontos ennek szem előtt tartása a korrózióvédeleminél. A 22. táblázatból azt látjuk, hogy a  $Zn^{++}$  (cink-ion) potenciálja nagyobb, mint a  $Fe^{++}$  (vas-ion) potenciálja. A Zn-Fe elempárnál tehát a Zn lesz a pusztuló anódos rész. A horganyzott vaslemez korróziós védelme tehát még akkor is megmarad, ha a horganyréteget egy karcolás megsérti. Az Fe—Sn elempárnál viszont a Sn a kisebb potenciálú nemesebb elem, és így a Fe lesz az anódos rész. Az ózított vaslemez korróziója tehát az ónbevonat megsértése esetén az azt áthidaló elektrolit (vízcsepp) közvetítésével a vaslemez gyorsított korróziós folyamatát idézi elő.

*Elektrokémiai (galván) korrózió* keletkezik mindenkor, amikor két különböző fém, vagy fémrész, fázis érintkezik, így közöttük elektromos kontaktus keletkezik, és felületüket elektrolitként ható folyadék fedi. Ilyenkor a nagyobb potenciálú ún. anódos anyagrészből a kontaktuson át negatív töltésű elektronok áramolnak a kisebb potenciálú ún. katódos anyagrész felé. Az anódos anyagrészben levő elektronjaikat vesztett atomok pozitív töltésű ionokká válva a két anyagrészt áthidaló elektrolitban oldódnak.

A korróziós folyamatban előforduló kémiai reakciók különféle vegyületeket termelnek. Ezeket *korróziós termékeknek* nevezzük. A korróziós termékek keletkezése, illetve lerakódási helye alkotórészeik mozgékonyasága szerint lehet az anód vagy a katód is. Pl. a vas rozsdásodásánál a rozsdá fő alkotóeleme, a vas-ion az anód közelében megy oldatba, a korróziós termék  $Fe(OH_3)$  (vas-hidroxid) mégis a katódon válik ki, mert a vas-ion mozgékonyasága nagyobb, mint az OH-gyöké.

A *feszültségkorrózió* az elektrokémiai korrózióknak ama fajtája, amelynél az anódos anyagrész oldását, pusztulását a kétféle anyagrész érintkezési helyén valamilyen húzófeszültség olyan keskeny felületre koncentrálja, hogy a megátadott anyagrész mélyébe hatoló rés, hajszálrepedés keletkezik.

A feszültségkorrózió jellege tehát az, hogy nagyon kevés a korróziós terméke, és hogy a megindult repedés rohamosan mélyül, rövid idő alatt az anyag teljes vastagságán átérő repedéssé fokozódhat.

A korróziós folyamatok fajtáinak rendszerezésénél egy másik rendező elv a korróziós pusztulás formája, helye és kiterjedése. *Felületi* általános korrózióknak nevezzük a korróziót akkor, ha a fémen a felülettel megközelítőleg párhuzamosan terjed függetlenül attól, hogy mekkora a reakciósebesség az idő függvényében. *Helyi korrózióknak* nevezzük a korróziót akkor, ha az a fémnek egy-egy kisebb felületére koncentrálódik és ott hatol a mélybe. Ilyen pl. a lyukkorrózió vagy pontkorrózió (pitting). Ez meredek falú helyi korrózió, amely által okozott károsodás lehet fenekes vagy átmenő lyuk.

Meg szokták különböztetni a *makrokorróziót*, amely két különböző fém érintkezésénél keletkezik a *mikrokorróziótól*, amely a mikroszkópi szövethépen látható különböző fázisok potenciálkülönbsége következtében keletkezik, helyi galvánelem képződése útján. A mikrokorrózióknak is van néhány fajtája. Így szelektív korrózióknak nevezik a mikrokorróziót akkor, ha az a fémnek csak egyik vagy néhány szövetelemére terjed ki.

*Interkristallin korrózióknak*, szemcsehatár-korrózióknak hívják a korróziót akkor, ha az csak a szemcsehatárokon elhelyezkedő nagyobb energiájú atomokat roncsolja. Ennek a korróziófajtának egy gyakori példája a Ti-nal vagy Nb-mal nem stabilizált 18/8 CrNi austenites acél szemcsehatár-korróziója, valamint a lágyacél kalcium-nitrát hatására bekövetkező szemcsehatár-korróziója és a szódás elridegedése. Helyi mikrokorrózió a *transzkristallin korrózió*, amelynek esetében a

korróziós roncsolódás nem a szemcsék határain, hanem azokon keresztül vágva megy végbe. Az interkrisztallin és transzkrisztallin korróziós formák a feszültség-korróziónál fordulnak elő.

Meg szokták különböztetni még a korróziókat ama külső körülmények szerint, amelyek között azok végbemennek. Így a folyadékba merített fém *folyadékkorróziót* szenved. A légköri viszonyok között *atmoszférikus-korrózió* keletkezik. A fémfelületre lecsapódott vízgőz okozta korróziót *vizpára-korrózió*nak hívják. Gázok okozzák a *gázkorróziót*. A talaj hatására *talajkorrózió* keletkezik. Az elektrokémiai korrózióknak legdurvább fajtája a földzárlatból eredő kóbor áramok okozta *kóboráram-korrózió*, amely a földbe fektetett csővezetéseken, acélszerkezetek földbe nyúló részein, kábeleken szokott jelentkezni.

Egy fémnek a korrózióval szemben való viselkedése lehet *aktív* vagy *passzív*. Aktívnak nevezzük a fém felületi állapotát akkor, ha egy bizonyos közegben könnyen korrodál. Az aktív állapot tehát a fém és közeg kölcsönhatásának a jellemzője. Passzívnak nevezzük a fém felületének az állapotát akkor, ha egy bizonyos közegben nem keletkezik rajta korróziós roncsolódás. Ilyenkor a fémet a közeggel szemben passzívnak nevezzük.

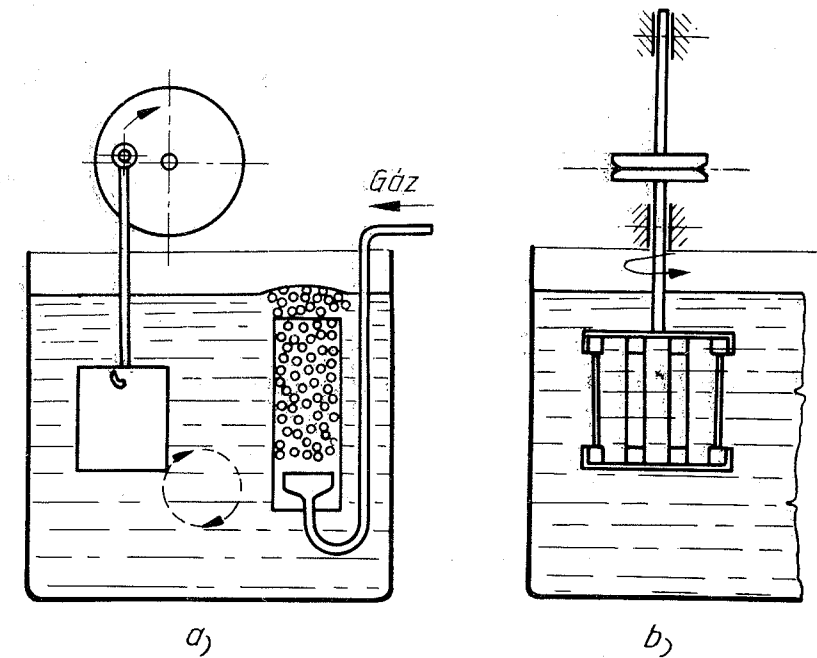
## 29.2. Felületi korróziós vizsgálatok

A felületi korróziós hatásokat, illetve a fémeknek a felületi korrózióval szemben való ellenálló képességét többféle módszerrel vizsgálják. Hosszú ideig tartó, de a gyakorlati értékelés szempontjából fontos vizsgálati rendszer a *légköri* (atmoszférikus) *korróziós vizsgálat*. Ezt a vizsgálatot szabvány szerint (4395-52) úgy végzik, hogy a megfelelően kiválasztott és az összehasonlító vizsgálatok céljaira rendesen különféle felületi védelemmel ellátott próbatesteket, rendesen  $100 \times 200$  mm méretű lemezeket olyan állványon helyezik el porcelán csigák közé, amely azoknak légköri behatását a vizsgált környezetben biztosítja. A próbatesteket tartó állványt rendesen déli irányba fordítva  $45^\circ$ -os lejtéssel helyezik el.

A légköri korrózió vizsgálati ideje évekre terjed. A korrózióval szemben való viselkedés megítélésére időközben kezdetben sűrűbb, később ritkuló értékeléseket kell végezni. Az értékelés kiterjed a lemezek felületének elszíneződésére, rozsdásodására, a korróziós termékekre, az esetleg keletkező bemaródások mélységére, valamint mikroszkópi és szilárdsági tulajdonságváltozásokra.

A felületi korrózió laboratóriumban lefolytatott gyorsított módszere a folyadék alatt végzett korróziós vizsgálat. A *folyadékvizsgálathoz* a 372. ábrán látható berendezést, vagy ehhez hasonló berendezéseket lehet használni. E vizsgálatnál a próbatestet folyadékba merülnek, és abban úgy mozgatják azokat, hogy mindig ki legyenek téve a folyadék hatásának. A vizsgálat során a folyadék hőmérsékletét, koncentrációját és a relatív mozgás sebességét kell meghatározott állandó értéken tartani. Mivel a folyadék-korróziót annak gáztartalma erősen befolyásolja, a vizsgálat

során a folyadék gáztartalmát megfelelő módon szabályozni kell. Legegyszerűbb egy bizonyos telítettségi fokot biztosítani, pl. levegővel való telítettség elérésére a folyadék minden literére percenként 200 ml levegőt vezetünk a folyadékba (372.a).



372. ábra. Folyadék korróziós vizsgálat a) gáztelítéssel, b) csak mozgatással

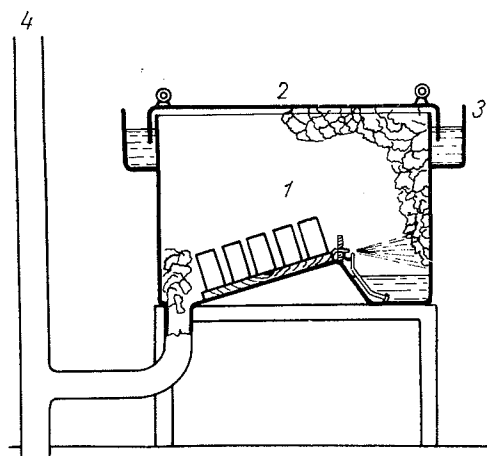
A folyadékkorrózió hatásának értékelésére a korrózióknak kitett lemezek időbeli súlyváltozása vagy méretváltozása szolgál. A súlyváltozás mértékegysége az a súlykülönbség, amelyet a vizsgált fém  $m^2$ -enként és naponként mutat pondokban ( $p/m^2 \cdot nap$ ). Szokásos még a  $p/m^2h$  súlyvesztés megadása is.

A méretváltozás mértékegysége az a vastagságcsökkenés, amely évenként bekövetkezik. Ezt mm/év, illetve mikron/nap egységekben adják meg.

A felületi korrózió reakciósebességére jellemző  $p/m^2 \cdot nap$ ,  $p/m^2h$  vagy mikron/nap alapján különféle fokozatokat különböztetnek meg:

|                                |       |           |
|--------------------------------|-------|-----------|
| tökéletesen ellenálló, maximum | 0,1   | $p/m^2h$  |
| eléggé ellenálló               | 0,1—1 | „         |
| meglehetősen ellenálló         | 1—3   | „         |
| kevésbé ellenálló              | 3—10  | „         |
| nem ellenálló                  | 10    | „ felett. |

Fokozottabb követelmények kielégítésére finomabb súly-, illetve méretfokozatokat is szoktak megállapítani, amelynél már nem ellenállónak számít az a fém, melynek súlycsökkenése nagyobb  $4,2 p/m^2h$ .



373. ábra. Sópermetvizsgáló berendezés. 1. Kamra, 2. Fedél, 3. Folyadékzár, 4. Kémény

amelyet a 373. ábrán látható berendezésben vizsgálnak. A légmentesen elzárt kamrába beállított próbalemezek a bepermetezett oldat páráinak korróziós hatása alatt állnak. Az értékelés értelemszerűen ugyanúgy történik, mint az előbbieké.

### 29.3. Szemcsehatár-korróziós vizsgálat

A szemcsehatár-korróziós vizsgálatot rendszeren gyorsított vizsgálati módszer szerint végzik. A vizsgálatához felhasznált próbatesteket olyan oldatban főzik, amely azok anyagában a szemcsehatár-korróziót rövid idő alatt (10–72 óra alatt) előidézi. A vizsgálat eredményének értékelése mikroszkópi és szilárdsági vizsgálatokkal történik.

E vizsgálatok egy konkrét példája a 18/8 austenites CrNi acél interkristallin korrózióra való hajlamának ellenőrzése. A vizsgálatához a lemez anyagában először mesterségesen előállítják a szemcsehatár-korrózióra való hajlamot. E célból a lemezeket 700–800 °C-on tartják 15–20 percig, s utána lassan hűtik. Ezután 100 cm<sup>3</sup> kénsav és 110 p réz-szulfát 1 liter vízben való oldatában főzik 12–72 órán át.

Az értékelés történhet hangpróbával úgy, hogy e lemezeket kő- vagy acéllapra dobják. A szemcsehatár-korróziós károsodási foka szerint csökken a próbalemezek fémcsengése. Az erősen korrodált lemezek ólmos hangot adnak. Pontosabb értékelésük mikroszkópi vizsgálatlal történik. Ez kimutatja a szemcsehatár-korrózió mélységi behatását. A szakítóvizsgálattal meg lehet állapítani szilárdságcsökkenését.

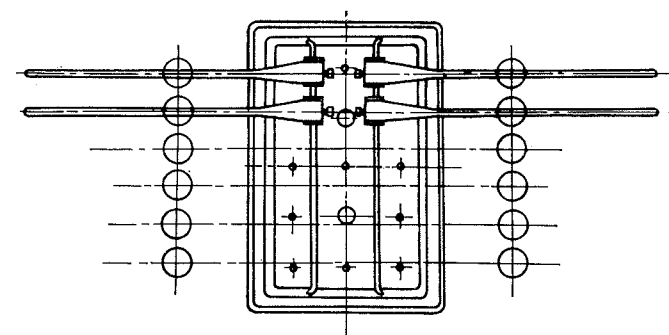
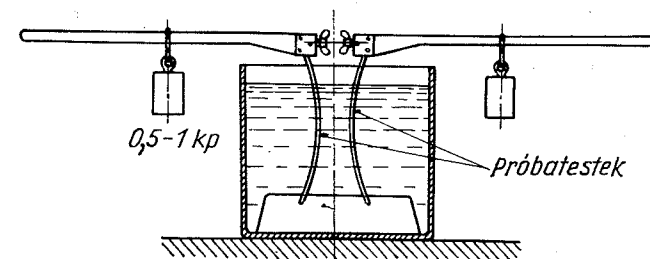
A fémek folyadék alatti korróziós vizsgálatát a 4389-52 szabvány tartalmazza.

A folyadék alatti korróziós vizsgálat egyik módosítása az a vizsgálati módszer, amikor a próbatesteknek csak egy része merül a korróziós közegbe, a folyadék felszínén ugyanis a korrózió gyakran lényegesen hatékonyabb, mint a belsejében. Az ilyen ún. *bemártó korróziós vizsgálat* értékelésénél a próbatestnek három részlegét kell értékelni: az állandóan folyadék alatt, a felváltva folyadék alatt–levegőn, és az állandóan levegőben levő részét.

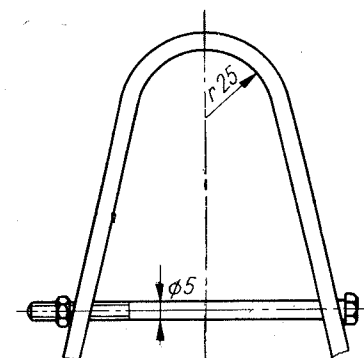
A felületi korróziós vizsgálatok negyedik fajtája az ún. *sópermetvizsgálat*,

### 29.4. Feszültségkorrózió

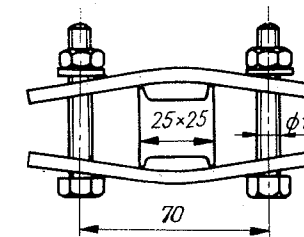
A feszültségkorrózióra való hajlamát a fémeknek úgy vizsgálják, hogy azokat előfeszített állapotban teszik ki különböző korróziós hatásoknak. A vizsgálati berendezés egyik fajtáját a 374. ábra mutatja. Ennél a folyadékba mártott próbatestekre változó nagyságú hajlítónyomatékot lehet egy karon eltolható súllyal kifejteni. A berendezés alkalmas arra, hogy azonos anyagnak azonos körülmények



374. ábra. Feszültségkorróziós vizsgálat állandó hajlítófeszültséggel

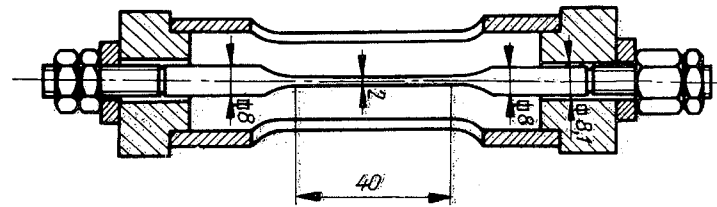


375. ábra. Maradó alakváltozásig hajlított próbatest feszültségkorróziós vizsgálatához (Dr. Fry)



376. ábra. Feszültségkorróziós vizsgálat próbatestjeinek hajlítófeszültséggel való terhelési módja (Bastien–Véron–Roques)

között különböző feszültséggel szemben való viselkedését mutassa. A 375. és 376. ábra olyan előhajlított állapotban való vizsgálati elrendezést mutat, amelynél a próbatesteken a maradó alakváltozásig növekvő feszültségek állíthatók elő. A 377. ábra olyan készüléket szemléltet, amellyel tenzométerrel előfeszített állapotba

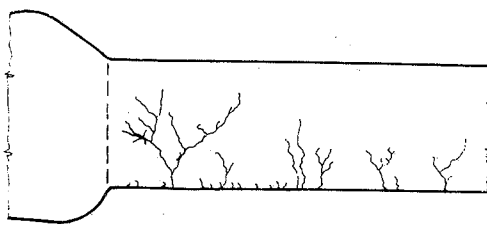
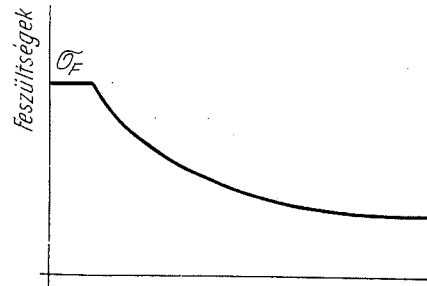


377. ábra. Beszabályozott húzóterheléssel végzett feszültségkorróziós vizsgálat feszítőkészüléke (NME Mech. Techn. Tansz.).

hozott szakító próbatesteket lehet ismert feszültségállapotban feszültségkorróziós vizsgálatnak kitenni.

A három utolsó ábrán látható berendezéseknél a feszültség a korrózióvizsgálat során ernyedés közben csökken.

A feszültségkorróziós vizsgálatot ugyancsak gyorsított vizsgálatként végzik úgy, hogy a feszültség alatt levő vagy előfeszített próbatesteket erős hatású oldatokban főzik. Az austenites CrNi acélokhoz használt oldat 60 p kalcium-klorid, 0,1 p higany-klorid és 40 ml desztillált vízből áll. Az ötvöztelen és kissé ötvözött acélokhoz 600 p kalcium-nitrát, 50 p ammónium-nitrát és 350 ml desztillált víz oldatot használnak.



378. ábra. Lágyacél feszültségkorróziós repedései egy hegesztővarrat zsugorodási feszültségmezejében

A feszültségkorróziós vizsgálatok értékelését hasonlóképpen, mint a többi korróziós vizsgálatokét, az idő függvényében bekövetkező károsodás, repedésmélyülés alapján adják meg. Austenites krómnikkel acélokban a feszültségkorrózió a szemcséken áthaladó, ötvöztelen és kissé ötvözött szénacélokban a szemcsehatárokon terjedő repedést okoz. A feszültségkorróziót általában az jellemzi, hogy az anyag feszültséggel terhelt részében mindenütt megindul a szemcsehatárokon és a feszültséggel arányosan halad a mélybe az arra legalkalmasabb, legérzékenyebb helyeken. Egy hegesztővarrat okozta zsugorodási feszültségmezőben kalcium-

um-nitrátos oldat hatására keletkezett feszültségkorróziós repedésekkel teli próbatestet mutat a 378. ábra. Jól látjuk az ábrán, hogy a repedések mélybe hatolása a zsugorodási feszültségek nagyságát követi.

## 29.5. Az elektrokémiai korrózió mechanizmusának összefoglalása

A legtöbb korrózió elektrokémiai korrózió alapján keletkezik. Ehhez szükség van két elektródára: anódra és katódra. E két elektróda azonos anyagban is különféle körülmények között jöhet létre. Potenciálkülönbséget okozhat: *összetételbeli* különbség, az *energiaszint*-különbség, a korróziós közeg *koncentrációs különbsége*.

Az *összetételbeli különbség* keletkezhet makroszkóposan különböző fémek között, vagy mikroszkóposan szövetszerkezetek fázisai között. A pusztuló anódos rész mindig a nagyobb potenciálú alkotó. Például:

| Elem párok               | Anód                    | Katód                   |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Zn-Fe<br>Sn-Fe<br>Perlit | Zn<br>Fe<br>ferritlemez | Fe<br>Sn<br>karbidlemez |

Az *energiakülönbség* okozta elem párok keletkezhetnek makroszkópos feszültség-hatásokból vagy mikroszkópos szövetszerkezeti részek közötti feszültség-hatásokból. Pl. hajlított lágyacélnál a hidegalakítást szenvedő rész az alakítást nem szenvedő részhez képest potenciálkülönbséget jelent.

| Elem párok   | nagyobb energiaszint<br>Anód                            | kisebb energiaszint<br>Katód                            |
|--|---|---|
| hidegen hajlított acéllemez<br>mikroszövet<br>vegyes szemcse | hidegen alakított rész<br>szemcsehatár<br>finom szemcse | érintetlen (lágycsész) rész<br>szemcse<br>durva szemcse |

A *korróziós közeg koncentrációkülönbségénél* leginkább az oxigén-tartalom változása jelent potenciálkülönbséget. Az anódos rész mindig a kevesebb oxigént tartalmazó része, a katódos rész pedig a nagy oxigéntartalmú része által érintett felülete a fémnek. Ez az ún. *szellőzési elem pár*. Ezért szenved mindig mélyebb be-maródást egy korróziós folyadékot tartalmazó edény fala a folyadék felszínének környezetében. Koncentrációkülönbséget jelent még a felületnek különféle fedettsége: oxidhártya, zsírfolt stb. A repedések mélyén a levegőzés hiányában mindig kisebb az oxigéntartalom, tehát a repedés csúcsa a talpához képest ún. szellőzési galvánclem hatása alatt áll. A feszültségkorrózió gyors előrehaladását ez a hatás is sietteti.

## SZAKIRODALOM

- (1) Verő József: Általános metallografia I. — Akadémiai kiadó, Budapest, 1952.
- (2) Verő József: Az ipari vasötvözetek metallográfiája. Vaskohászati Enciklopédia IX/1. — Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960.
- (3) N. F. Bolchowitinow: Stahl, Eisen, NE-Metalle und ihre Wärmebehandlung. — VEB Verlag Technik, Berlin, 1955.
- (4) Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle. — Max Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf, Verlag Stahleisen, 1954—56.
- (5) F. Eisenkolb: Einführung in die Werkstoffkunde Bd. II. — VEB Verlag Technik, Berlin, 1958.
- (6) Van Vlack: Elements of Materials Science. — Addison-Wesley Publ. Co. Massachusetts. U.S.A. 1961.
- (7) C. A. Keyser: Basic Engineering Metallurgy. — Prentice Hall Inc. Engelwood Cliffs, U.S.A. 1959.
- (8) Grimsehl: Lehrbuch der Physik. IV. Band. Struktur der Materie. — B. G. Teubner Verlag, Leipzig, 1959.
- (9) H. Ohmann: Allgemeine und praktische Metallkunde. — Fachbuchverlag Leipzig, 1965.
- (10) Pattantyús: Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve 5. A/13. 110—113. old.
- (11) Zorkóczy Béla: A hőkezelés technológiája. — Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó V., Budapest, 1952.
- (12) Szombatfalvy Árpád: Hőkezelés. — Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1960.
- (13) Recent developments in annealing. Special Report 79. — The Iron and Steel Institute, London, 1963.
- (14) Pattantyús: Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve 2. kötet B/a) 1652—1735. old.
- (15) F. Wever, A. Rose, W. Strassburg: Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder als Grundlage der Wärmebehandlung der Stähle (Forschungsbericht). — Westdeutscher Verlag, Köln u. Opladen, 1959.
- (16) F. Rapatz: Die Edelmetalle. — Springer Verlag, Berlin (Göttingen) Heidelberg, 1962.
- (17) I. Fehser—O. Lowitzer: Werkstatttechnik u. Maschinenbau 47. — (1957) 559. old.
- (18) I. E. Kontorovics: Az acél és az öntöttvas hőkezelése. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1952.
- (19) Bella Ede: Fémek hőkezelése. — Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1962.
- (20) Verő J.: Vas- és fémipari anyagvizsgálat. — Tankönyvkiadó, Budapest, 1959.
- (21) E. Siebel: Handbuch der Werkstoffprüfung. — Springer Verlag, Berlin, 1958.
- (22) N. A. Saposnyikov: Fémek mechanikai vizsgálata. — Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó V., Budapest, 1952.
- (23) G. A. Kascenkó: A metallográfia alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.

## FÜGGELÉK

„Fémes anyagok vizsgálata” részben alkalmazott  
jelölések

### 21. Szakítókérdés szobahőmérsékleten

| Jelölés         | Megnevezés   | Mértékegység | A jelölés szabványos változata |
|-----------------|--|--------------|--------------------------------|
| $l_0$           | Szakító próbatest jeltávolsága vizsgálat előtt   | mm           | $L_0$                          |
| $l_v$           | A próbatest vizsgálati hossza, a hengeres vagy hasáb alakú rész hossza az átmeneti részek nélkül | mm           | $L_v$                          |
| $l_t$           | A próbatest teljes hosszúsága  | mm           | $L_t$                          |
| $h$             | A próbatest befogására alkalmas fejrész hosszúsága   | mm           | $h$                            |
| $d_k$           | A próbatest fejrészének külső átmérője   | mm           | $D$                            |
| $d_0$           | A próbatest átmérője vizsgálat előtt   | mm           | $d$                            |
| $a_0$           | Négyszög keresztmetszetű próbatest jeltávolságán mért vastagság, vizsgálat előtt                 | mm           | $a$                            |
| $b_0$           | Négyszög keresztmetszetű próbatest jeltávolságán mért szélesség, vizsgálat előtt                 | mm           | $b$                            |
| $b_k$           | Négyszög keresztmetszetű próbatest fejrészének szélessége  | mm           | $B$                            |
| $d_e$           | A próbatest átmérője az egyenletes nyúlás határán  | mm           | $d_e$                          |
| $d_0$           | A próbatest legkisebb átmérője a szakadás helyén   | mm           | $d_c$                          |
| $\Delta l_0$    | A próbatest jeltávolságának összes megnyúlása a vizsgálat folyamán                               | mm           | —                              |
| $\Delta l_r$    | Az eredeti jeltávolság rugalmas megnyúlása   | mm           | —                              |
| $\Delta l$      | Az eredeti jeltávolság maradékos megnyúlása  | mm           | $\Delta L$                     |
| $\Delta l_{e0}$ | Az eredeti jeltávolság összes megnyúlása az egyenletes nyúlás határán                            | mm           | —                              |
| $\Delta l_{er}$ | Az eredeti jeltávolság rugalmas megnyúlása az egyenletes nyúlás határán                          | mm           | —                              |
| $\Delta l_e$    | Az eredeti jeltávolság maradékos megnyúlása az egyenletes nyúlás határán                         | mm           | —                              |
| $l_c$           | A próbatest jeltávolságának hosszúsága szakadás után   | mm           | $L_u$                          |

| Jelölés         | Megnevezés   | Mértékegység | A jelölés szabványos változata |
|-----------------|--|--------------|--------------------------------|
| $\Delta l_{e0}$ | Az eredeti jeltávolság összes megnyúlása a szakadás pillanatában                 | mm           | —                              |
| $\Delta l_{er}$ | Az eredeti jeltávolság rugalmas megnyúlása a szakadás pillanatában               | mm           | —                              |
| $\Delta l_e$    | Az eredeti jeltávolság maradékos megnyúlása a szakadás után                      | mm           | $\Delta L_c$                   |
| $\Delta l_5$    | 5 $d_0$ -ás jeltávon mért (maradó) megnyúlás szakítás után                       | mm           | —                              |
| $\Delta l_{10}$ | 10 $d_0$ -ás jeltávon mért (maradó) megnyúlás szakítás után                      | mm           | —                              |
| $\Delta l_n$    | $n$ $d_0$ -ás jeltávon mért (maradó) megnyúlás szakítás után                     | mm           | —                              |
| $\epsilon_0$    | A próbatest jeltávolságának összes fajlagos nyúlása a vizsgálat folyamán         | —            | —                              |
| $\delta_0$      | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon_r$    | A próbatest jeltávolságának rugalmas fajlagos nyúlása a vizsgálat folyamán       | —            | —                              |
| $\delta_r$      | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon$      | A próbatest jeltávolságának maradékos fajlagos nyúlása a vizsg. folyamán         | —            | $\epsilon$                     |
| $\delta$        | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon_{e0}$ | Az eredeti jeltávolság összes fajlagos nyúlása az egyenletes nyúlás határán      | —            | —                              |
| $\delta_{e0}$   | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon_{er}$ | Az eredeti jeltávolság rugalmas fajlagos nyúlása az egyenletes nyúlás határán    | —            | —                              |
| $\delta_{er}$   | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon_e$    | Az eredeti jeltávolság maradékos fajlagos nyúlása az egyenletes nyúlás határán   | —            | —                              |
| $\delta_e$      | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon_{c0}$ | Az eredeti jeltávolság összes fajlagos nyúlása a szakadás pillanatában           | —            | —                              |
| $\delta_{c0}$   | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon_{er}$ | Az eredeti jeltávolság rugalmas fajlagos nyúlása a szakadás pillanatában         | —            | —                              |
| $\delta_{er}$   | Ugyanaz %-ban  | %            | —                              |
| $\epsilon_c$    | Az eredeti jeltávolság maradékos fajlagos nyúlása a szakadás után                | —            | —                              |
| $\delta_c$      | Ugyanaz %-ban  | %            | $\delta_c$                     |
| $\delta_5$      | Az 5 $d_0$ -ás jeltávolságon szakítás után mért (maradó) fajlagos nyúlás %-ban   | %            | $A_5$                          |
| $\delta_{10}$   | A 10 $d_0$ -ás jeltávolságon szakítás után mért (maradó) fajlagos nyúlás %-ban   | %            | $A_{10}$                       |
| $\delta_n$      | Az $n$ $d_0$ -ás jeltávolságon szakítás után mért (maradó) fajlagos nyúlás %-ban | %            | $A_n$                          |

| Jelölés          | Megnevezés  | Mértékegység       | A jelölés szabványos változata |
|------------------|---|--------------------|--------------------------------|
| $A_0$            | A próbatest keresztmetszete a jeltávolságán belül szakító kísérlet előtt  | mm <sup>2</sup>    | $S_0$                          |
| $A$              | A próbatest keresztmetszete a szakító kísérlet folyamata alatt  | mm <sup>2</sup>    | $S$                            |
| $A_e$            | A próbatest keresztmetszete az egyenletes nyúlás határán  | mm <sup>2</sup>    | —                              |
| $A_c$            | A próbatest legkisebb keresztmetszete a szakadás helyén. Kontrahált keresztmetszet  | mm <sup>2</sup>    | $S_u$                          |
| $\psi'$          | A próbatest keresztmetszetének százalékos csökkenése a szakító vizsgálat folyamata alatt  | %                  | —                              |
| $\psi$           | A kontrakció; a próbatest keresztmetszetének legnagyobb (maradó) százalékos csökkenése, szakadás után                                     | %                  | $Z$                            |
| $F$              | A próbatest keresztmetszetére ható tengelyirányú erő  | kp                 | $F$                            |
| $F_B$            | A próbatest keresztmetszetére ható legnagyobb húzóerő   | kp                 | $F_{max}$                      |
| $F_F$            | A próbatest keresztmetszetére ható erő a folyás határán   | kp                 | $F_F$                          |
| $\sigma$         | A próbatest $l_0$ mérőhosszúságán belül az erő irányára merőleges keresztmetszet egységére eső fajlagos erő: <i>feszültség</i>            | kp/mm <sup>2</sup> | —                              |
| $\sigma_B$       | A próbatest keresztmetszetére ható legnagyobb húzóerő és az eredeti keresztmetszet viszonya   | kp/mm <sup>2</sup> | $R_m$                          |
| $F_{0,2}$        | A próbatest 0,2%-os maradó megnyúlását előidéző tengelyirányú erő   | kp                 | $F_{0,2}$                      |
| $F_{0,02}$       | A próbatest 0,02%-os maradó megnyúlását előidéző tengelyirányú erő  | kp                 | $F_{0,02}$                     |
| $F_{0,002}$      | A próbatest 0,002%-os maradó megnyúlását előidéző tengelyirányú erő. Terhelő erő a rugalmasság határán                                    | kp                 | $F_{0,002}$                    |
| $\sigma_F$       | Folyáshatár: $F_F/A_0$  | kp/mm <sup>2</sup> | $R_{eL}$                       |
| $\sigma_{0,2}$   | 0,2-es határ. A 0,2%-os maradó alakváltozást okozó erő és az eredeti keresztmetszet hányadosa   | kp/mm <sup>2</sup> | $R_{p0,2}$                     |
| $\sigma_{0,02}$  | 0,02-es (rugalmassági) határ: az eredeti jeltávolság 0,02%-os maradó alakváltozását előidéző erő és az eredeti keresztmetszet hányadosa   | kp/mm <sup>2</sup> | $R_{p0,02}$                    |
| $\sigma_{0,002}$ | 0,002-es (rugalmassági) határ: az eredeti jeltávolság 0,002%-os maradó alakváltozását előidéző erő és az eredeti keresztmetszet hányadosa | kp/mm <sup>2</sup> | $R_{p0,002}$                   |
| $\sigma'$        | Feszültség a próbapálcá terhelése folyamán bármikor, a fellépő tengelyirányú erő és a   |                    |                                |

| Jelölés    | Megnevezés   | Mértékegység       | A jelölés szabványos változata |
|------------|--|--------------------|--------------------------------|
|            | próbatest pillanatnyi legkisebb keresztmetszetének viszonya. Valódi feszültség     | kp/mm <sup>2</sup> | —                              |
| $\sigma_e$ | Az egyenletes nyúlás határán fellépő valódi feszültség                             | kp/mm <sup>2</sup> | —                              |
| $\sigma_c$ | A próbatest szakadásakor mért erő és a kontrahált keresztmetszet viszonya          | kp/mm <sup>2</sup> | —                              |
| $E$        | Rugalmassági tényező. Az elméleti szakítódiagram kezdeti szakaszának iránytangense | kp/mm <sup>2</sup> | $E$                            |
| $R$        | Nyúlásmérő bélyeg huzalának kezdeti ohmikus ellenállása                            | Ohm                | —                              |
| $\Delta R$ | Nyúlásmérő bélyeg ellenállásának változása   | Ohm                | —                              |
| $\eta$     | A nyúlásmérő bélyeg érzékenysége   | —                  | —                              |
| $L$        | A próbatest maradó alakváltozásához szükséges munka                                | kpmm               | —                              |
| $L_r$      | A próbatest rugalmas alakváltozásához szükséges munka                              | kpmm               | —                              |
| $G$        | Súly   | kp                 | —                              |

### 22. Szakítóvizsgálat nagyobb hőmérsékleten

|                        |  |                     |                        |
|------------------------|--|---------------------|------------------------|
| $\nu$                  | A próbatest eredeti jeltávolságának %-os fajlagos nyúlása az időegységben  | %/s<br>%/min<br>%/h | —                      |
| $\sigma_T$             | Tartósfolyás határa  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_T$             |
| $\sigma_{B/1d5 (h)}$   | Küszószilárdság (időleges szilárdság)  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_{B/1d5 (h)}$   |
| $\sigma_{0,2/1d5 (h)}$ | 0,2%-os küszáshatár  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_{0,2/1d5 (h)}$ |
| $\sigma_{1/1d5 (h)}$   | 1%-os küszáshatár, u.a. mint előbb 1%-os maradó megnyúlásra  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_{1/1d5 (h)}$   |
| $\delta_{n/1d5 (h)}$   | Küszónyúlás (időleges szakadási nyúlás: $l_0 = nd_0$ jeltávolságú próbatest %-os maradó megnyúlása a jelölt idő után. Meghatározott vizsgálati hőmérsékleten                                 | %                   | $\delta_{n/1d5 (h)}$   |
| $\psi_{1d5 (h)}$       | Küszó keresztmetszetcsökkenés (időleges kontrakció): a próbatest keresztmetszetének legnagyobb %-os helyi csökkenése az adott vizsgálati időhöz tartozó szakadás után, nagyobb hőmérsékleten | %                   | $\psi_{1d5 (h)}$       |

### 23.1 Nyomóvizsgálat

|                 |   |    |              |
|-----------------|---|----|--------------|
| $h_0$           | A nyomópróbatest magassága                          | mm | $h$          |
| $\Delta h_v$    | A nyomópróbatest maradó megrövidülése               | mm | $\Delta h_v$ |
| $\varepsilon_v$ | A nyomópróbatest maradó fajlagos magasságcsökkenése | —  | —            |
| $\delta_v$      | Ugyanaz %-ban                                       | %  | $\delta_v$   |



| Jelölés                       | Megnevezés   | Mértékegység       | A jelölés szabványos változata |
|-------------------------------|--|--------------------|--------------------------------|
| $F_v$                         | A nyomópróbatestre ható legnagyobb törést okozó erő  | kp                 | $P_v$                          |
| $\sigma_v$                    | Nyomó-, törőszilárdság a nyomóvizsgálatnál törést okozó erő és a próbatest eredeti keresztmetszetének viszonya   | kp/mm <sup>2</sup> | $\sigma_v$                     |
| $\mu$                         | A nyomólap és a próbatest amyaga között alakváltozás közben fellépő súrlódás tényezője   | —                  | —                              |
| <b>23.2. Hajlítóvizsgálat</b> |  |                    |                                |
| $l_0$                         | A hajlítótámaszok egymástól mért távolsága   | mm                 | $L$                            |
| $R$                           | A hajlító támasz lekerekítési sugara   | mm                 | —                              |
| $D$                           | A hajlítótüske átmérője  | mm                 | $D$                            |
| $K$                           | A próbatest keresztmetszeti tényezője  | mm                 | $K$                            |
| $f$                           | A próbatest behajlása  | mm                 | —                              |
| $M_{hmax}$                    | Hajlítás során a próbatestet terhelő legnagyobb hajlítónyomaték  | mmkp               | $M$                            |
| $\sigma_{Bh}$                 | Hajlítószilárdság, a hajlításnál törést okozó maximális nyomaték és a keresztmetszeti tényező viszonya   | kp/mm <sup>2</sup> | $\sigma_{Bh}$                  |
| <b>23.3. Csavaróvizsgálat</b> |  |                    |                                |
| $\varphi$                     | Az elcsavarodás szöge, mellyel a próbatest valamely keresztmetszete a tőle $l$ távolságban levő keresztmetszetéhez elfordul                                      | fok                | $\varphi$                      |
| $\theta$                      | Fajlagos elcsavarodás, a próbatest $l_0$ távolságban levő keresztmetszetének ívmértékben kifejezett elcsavarodásának és a próbatest $l_0$ hosszúságának viszonya | 1/cm               | $\theta$                       |
| $M_{cs}$                      | $K$ karon $F$ erő hatására ébredő csavarónyomaték  | cmkp               | $M$                            |
| $\tau_{cs}$                   | Csavarófeszültség; a csavarónyomaték és a poláris keresztmetszeti tényező viszonya a kitéréslet alatt  | kp/mm <sup>2</sup> | $\tau$                         |
| $\tau_{csB}$                  | A próbatest törését okozó legnagyobb csavarófeszültség   | kp/mm <sup>2</sup> | $\tau_B$                       |
| <b>23.4. Nyíróvizsgálat</b>   |  |                    |                                |
| $F_{ny}$                      | A próbatest legnagyobb nyíró terhelése   | kp                 | $P_{ny}$                       |
| $\tau_{nyB}$                  | Nyírószilárdság, a törést okozó nyíróerő és a nyírt keresztmetszet hányadosa   | kp/mm <sup>2</sup> | $\tau_{ny}$                    |

| Jelölés                              | Megnevezés  | Mértékegység       | A jelölés szabványos változata |
|--------------------------------------|---|--------------------|--------------------------------|
| <b>24.1. Brinell-keménységmérés</b>  |   |                    |                                |
| $D$                                  | A keménységmérés alkalmazott edzett acélgolyó vagy keményfémgolyó átmérője  | mm                 | $D$                            |
| $F$                                  | Az acélgolyót a vizsgálandó tárgy felületébe nyomó erő  | kp                 | $P$                            |
| $d$                                  | Az acélgolyó $F$ erő hatására történt lenyomatának átmérője   | mm                 | $d$                            |
| $HB$                                 | Brinell-keménység. Terhelő erő és az acélgolyó lenyomata felszínének hányadosa  | kp/mm <sup>2</sup> | $HB$                           |
| <b>24.2. Vickers-keménységmérés</b>  |   |                    |                                |
| $\alpha$                             | A Vickers-keménységmérésnél alkalmazott 136°-os csúcshölgű négyzet alapú gyémántgúla félcsúcshöge   | fok                | $\alpha$                       |
| $d$                                  | A Vickers-gúla négyzetes lenyomata két átlójának középértéke  | mm                 | $d$                            |
| $h$                                  | A Vickers-gúla $F$ erő hatására történt benyomódásának mélysége   | mm                 | —                              |
| $HV$                                 | Vickers-keménység, a vizsgálati terhelés és a benyomódás felszínének hányadosa  | kp/mm <sup>2</sup> | $HV$                           |
| <b>24.3. Rockwell-keménységmérés</b> |   |                    |                                |
| $HRC$                                | Rockwell-keménység; 120°-os csúcshölgű gyémántkúppal, $F_0=10$ kp előterheléssel és $F=140$ kp főterheléssel mérve  |                    | $HRC$                          |
| $HRA 60$                             | Rockwell-keménység; 120°-os csúcshölgű gyémántkúppal, $F_0=10$ kp előterheléssel és $F_1=50$ kp főterheléssel azaz $F=60$ kp összerheléssel mérve                               |                    | $HRA 60$                       |
| $HRA 62,5$                           | Rockwell-keménység; 120°-os csúcshölgű gyémántkúppal $F_0=10$ kp előterheléssel $F_1=52,5$ kp főterheléssel mérve   |                    | $HRA 62,5$                     |
| $HRB$                                | Rockwell-keménység; szűrőszerszámként 1/16'' (1,59 mm) átmérőjű golyót alkalmazva $F_0=10$ kp előterhelés, $F_1=90$ kp főterhelés azaz $F_1=100$ kp összes terhelést alkalmazva |                    | $HRB$                          |
| $e$                                  | Rockwell-keménységmérőnél alkalmazott szűrőszerszám főterhelés okozta maradó benyomódásának mélysége  | mm                 | $e$                            |
| $h_{F0}$                             | Rockwell-szűrőszerszám előterhelés okozta benyomódásának mélysége   | mm                 | —                              |
| $h_{F1}$                             | Rockwell-szűrőszerszám főterhelés hatására történő benyomódása  | mm                 | —                              |

| Jelölés                                      | Megnevezés   | Mértékegység        | A jelölés szabványos változata |
|--|--|---------------------|--------------------------------|
| $h_r$  | Rockwell-szűrőszerszám főterhelésének megszüntetésekor mért rugalmas benyomódás  | —                   | —                              |
| <i>25.4. Dinamikus szilárdsági vizsgálat</i> |  |                     |                                |
| $G_r$  | Az ütőmű kosának redukált súlya  | kp                  |                                |
| $a_k$  | Fajlagos ütőmunka. A felhasznált ütőmunka és a próbatest ép (törés előtti), — a bemetszés helyén levő — keresztmetszetének hányadosa | mkp/cm <sup>2</sup> | KCU                            |
| $L_m$  | A szakítódiaagram alatti terület, azaz a próbatest elszakítására fordított munka   | kp/mm               | —                              |
| $\sigma_{k\text{din}}$                       | Közezes dinamikus szilárdság útve szakításnál  | kp/mm <sup>2</sup>  | —                              |
| $\sigma_{B\text{din}}$                       | Dinamikus szakítószilárdság a dinamikus szakításnál a próbatestet terhelő legnagyobb és az eredeti keresztmetszet viszonya           | kp/mm <sup>2</sup>  | —                              |
| $V$  | A próbatest jeltávolságra eső térfogata  | mm <sup>3</sup>     | —                              |
| <i>26. Fárasztóvizsgálat</i>                 |  |                     |                                |
| $\sigma_{\text{max}}$                        | Ismétlődő legnagyobb húzó-, nyomó- vagy hajlítófeszültség  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_{\text{max}}$          |
| $\tau_{\text{max}}$                          | Ismétlődő legnagyobb csavaró- vagy nyírófeszültség   | kp/mm <sup>2</sup>  | $\tau_{\text{max}}$            |
| $\sigma_m$                                   | $\frac{\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{2}$ ismétlődő húzónyomó, vagy hajlító középvesztültség                             | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_m$                     |
| $\sigma_a$                                   | $\frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2}$ feszültséglengés a középvesztültség körül (feszültségamplitúdó)                | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_a$                     |
| $\tau_m$                                     | Ismétlődő csavaró vagy nyíró középvesztültség  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\tau_m$                       |
| $\tau_a$                                     | $\frac{\tau_{\text{max}} + \tau_{\text{min}}}{2}$ ismétlődő csavaró vagy nyíró középvesztültség                                      | kp/mm <sup>2</sup>  | $\tau_a$                       |
| $\sigma_{\text{min}}$                        | Ismétlődő legkisebb húzó-nyomó vagy hajlító feszültség   | kp/mm <sup>2</sup>  | $\sigma_{\text{min}}$          |
| $\tau_{\text{min}}$                          | Ismétlődő legkisebb csavaró- vagy nyírófeszültség  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\tau_{\text{min}}$            |
| $\tau_a$                                     | Feszültséglengés a középvesztültség körül  | kp/mm <sup>2</sup>  | $\tau_a$                       |
| $N$  | $\tau_a = \pm \frac{\tau_{\text{max}} - \tau_{\text{min}}}{2}$   | kp/mm <sup>2</sup>  | $\tau_a$                       |
| $N$  | A fárasztóvizsgálat során törést okozó ismételt igénybevételek száma, rendszerint 10 <sup>6</sup> többszörösében                     |                     | $N$                            |
| $f$  | A másodpercenkénti igénybevételek száma (a terhelésingadozás frekvenciája)   | Hz                  | $f$                            |

| Jelölés                             | Megnevezés   | Mértékegység       | A jelölés szabványos változata |
|-------------------------------------|--|--------------------|--------------------------------|
| $n$                                 | A percenkénti igénybevételek száma   | —                  | $n$                            |
| $\sigma_t$                          | Kifáradási határ $\sigma_f = \sigma_m \pm \sigma_a$  | kp/mm <sup>2</sup> | $\sigma_t$                     |
| $\tau_t$                            | $\tau_f = \tau_m \pm \tau_a$   |                    | $\tau_t$                       |
| $\sigma_v$                          | Lengőszilárdság  | kp/mm <sup>2</sup> | $\sigma_v$                     |
| $\tau_v$                            | $\sigma_m = 0$ $\sigma_v = \pm \sigma_a$<br>$\tau_m = 0$ $\tau_v = \pm \tau_a$   |                    | $\tau_v$                       |
| $\sigma_r$                          | Lüktető szilárdság   | kp/mm <sup>2</sup> | $\sigma_r$                     |
| $\tau_r$                            | $\sigma_m = \sigma_a$ , $\sigma_r = +2\sigma_a$ vagy $-2\sigma_a$<br>$\tau_m = \tau_a$ , $\tau_r = +2\tau_a$ vagy $-2\tau_a$ |                    | $\tau_r$                       |
| $N_u$                               | Az üzem tervezett tartamára eső összes ismételt igénybevételek száma   | —                  | —                              |
| $P$                                 | $\sigma_t$ igénybevétel hatására bekövetkező törések valószínűsége   | %                  | —                              |
| $L_t$                               | $\sigma_t$ ismétlődő feszültséghez tartozó $N$ törési szám után $P$ valószínűséggel bekövetkező törésig végzett munka        | mmkp               | —                              |
| $n_{i-k}$                           | Azonos terheléslépcsőhöz tartozó ismétlések száma  | —                  | —                              |
| $N_{i-k}$                           | A törésig bekövetkezett lépcsőnkénti összes ismétlődések száma   | —                  | —                              |
| $\alpha_k$                          | Alaktényező  | —                  | —                              |
| $\beta_k$                           | Anyagtól és felületi kiképzéstől függő gátlási tényező   | —                  | —                              |
| <i>27. Technológiai vizsgálatok</i> |  |                    |                                |
| $D$                                 | A hajlítótüske átmérője  | mm                 | $D$                            |
| $a$                                 | A hajlító próbatest vastagsága   | mm                 | $a$                            |
| $l_1$                               | A hajlított darab szélső szálának hossza   | mm                 | —                              |
| $l_0$                               | A hajlított darab semleges szálának hossza a görbületi sugár ( $r$ ) és a középponti szög ( $\varphi$ ) értékével kifejezve  | mm                 | —                              |
| $\delta$                            | A szélső szál fajlagos %-os nyúlása  | %                  | —                              |
| <i>28. Nem roncsoló vizsgálatok</i> |  |                    |                                |
| $I$                                 | Röntgensugár intenzitása   | r/h                | $T$                            |
| $\mu$                               | Gyengülési együttható  | 1/cm               | —                              |
| $S$                                 | A film feketedésének mértéke   | —                  | —                              |
| $L$                                 | Megvilágítás   | Lux s              | —                              |
| $HF$                                | Az alkalmazott huzalsor esetén felismerhető legkisebb huzal átmérőjének és az átvilágított anyagvastagság viszonya           | %                  | $HF$                           |
| $v$                                 | Az ultrahang terjedési sebessége a vizsgálandó anyagban  | mm/s               | —                              |
| $\lambda$                           | Az ultrahang hullámhossza  | mm                 | —                              |
| $f$                                 | Az ultrahang frekvenciája  | 1/s MHz            | —                              |

## MEGJEGYZÉSEK A „FÜGGELÉKHEZ”

Az SI (System International d'Unités) mértékrendszerre való áttérés a mérőszámokban okozott változások mellett az egyes tulajdonságok jelöléseiben is változást fog eredményezni. A jelölésekre vonatkozó összeállításban a mechanikai tulajdonságokra vonatkozó jelölésekben végbement fontosabb változásokat a szabványos jelölések tartalmazzák.

A különböző tulajdonságok jelölését és mértékegységeit az MSZ 1900/1–10 lap T(70. VI.) szabvány tartalmazza.

A mértékegységekkel kapcsolatos javasolt irodalom:

Fodor Gy.: Mértékegység Kislexikon

Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.

Tájékoztató a könyvben előforduló mértékegységek SI-mértékrendszerbe való átszámításáról

erő:  $1 \text{ kp} = g_n \text{ N}$  ( $g_n = 9,806 \text{ 65}$ )

tömeg:  $1 \text{ kps}^2/\text{m} = g_n \text{ Ns}^2/\text{m}$

statikai nyomaték:  $1 \text{ kps}^2 = g_n \text{ Ns}^2$

tehetetlenségi nyomaték:  $1 \text{ kps}^2 \text{ m} = g_n \text{ Ns}^2 \text{ m}$

munka és energia:  $1 \text{ kpm} = g_n \text{ Nm}$

nyomás és mechanikai feszültség:  $1 \text{ kp}/\text{m}^2 = g_n \text{ N}/\text{m}^2$

felületi feszültség:  $1 \text{ kp}/\text{m} = g_n \text{ N}/\text{m}$

## TÁRGYMUTATÓ

### A Á

- acélbronz 189
- acélok 104
- aktiválási energia 50
- alakítási keményedés 46
- alakítványzó 429
- alfa-vas 62, 98
- Al hatása az acélra 160
- alutálás 309
- allotropia 61
- AlNi és AlNiCo mágnesek 298
- Al-ötvözetek 177
- alumíniumbronz 188
- alumíniumötvözetek nemesítése 334–344
- amorf 16, 30
- arany 193
- armco-vas 95
- atom 15
- atomsűrűség 23
- atom % átszámítása súlyszázalékra 52
- austenit 96, 137
- austenites CrNi és CrMn-acél 156, 233
- austenitesedési diagram 209
- austenites lehűtés 233
- austenites Mn-acél 151, 234
- austenitképző elemek 144
- állandó mágnesek kiválasztás edzése 294
- állapotábra 69
- átalakulási diagram 126, 128
- átédzhetőség 253
- átkristályosító lágyítás 226
- átkristályosodás, acélok 112
- átnemesíthetőség 271

### B

- bainit 114, 127, 140
- bainites átalakulás 114
- bemártó edzés 282
- bemártó patentozás 268
- bemetszett próbatest ütővizsgálata 411
- béta-vas 62
- betétedzés 283
- bimetall 153
- biztonsági területek 424
- bőr mint acélötvöző 160
- Bragg-féle egyenlet 25
- Brinell-keménység 398
- Burgers-vektor 43

### C

- cementálás 284
- cementit 99, 138
- C-görbe 110
- ciáncementálás, cianidálás 285
- Curie-pont 63

### Cs

- csapágyfém 191
- csavardiszlokáció 44
- csavaróvizsgálat 395
- csővizsgálatok 434

### D

- Debye–Sherrer-eljárás 25
- delta-vas 62

- ◊ dendrites dermedés 33
- ◊ dermedéspont 28
- ◊ diffúzió 52
- ◊ diffúziós izzítás 231
- ◊ diffúziós tényező 54
- ◊ dinamikus szilárdság 413
- ◊ diszlokáció 39
- ◊ diszlokációs vonal 43
- ◊ durométer 409

## E

- ◊ edzett acél keménysége 132, 246
- ◊ edzett acél megeresztése 134, 242
- ◊ edzés (folyamatos hűtésű) 236
- ◊ edzési feszültségek 259
- ◊ edzőközegek 238
- ◊ egyenletes nyúlás 362
- ◊ egyensúlyi diagram 69
- ◊ egykristály 33
- ◊ elektróda-potenciál 449
- ◊ elektrokémiai korrózió 449, 457
- ◊ elektrolit réz 183
- ◊ elektron 181
- ◊ elektronvegyület 65
- ◊ embrió 30
- ◊ epszilón-karbid 135
- ◊ erősítő fólia 442
- ◊ eutektikum 66, 75
- ◊ eutektoidos acél 99, 102
- ◊ eutektoidos acél C-görbéje 126
- ◊ eutektoidos gamma-vas 96

## F

- ◊ fajlagos keresztmetszetcsökkenés 364
- ◊ fajlagos nyúlás 361
- ◊ fajlagos ütőmunka 412
- ◊ fásztógépek 430
- ◊ fásztóvizsgálat 415
- ◊ fázis 67
- ◊ fázisdiagram 77
- ◊ fehérfehér 191
- ◊ fehértemperálás 325
- ◊ fehérvas 165, 171
- ◊ feketetemperálás 323
- ◊ felületen középpontos szabályos térrács 20
- ◊ felületi korróziós vizsgálatok 452
- ◊ ferrit 98, 137
- ◊ ferrites Cr-acél 156

470

- ◊ ferritképző elemek 145
- ◊ feszültségcsökkentés 217
- ◊ feszültségkorrózió 451, 455
- ◊ fémes vegyületek 65, 143, 145
- ◊ finom nyúlásmérések 364
- ◊ folyamatos újrakristályosítás 219
- ◊ folyás-határa 360
- ◊ fordított karok szabálya 69
- ◊ foszforbronz 184

## G

- ◊ gamma-vas 62, 96
- ◊ gátlási tényező 429
- ◊ gázcementálás 285
- ◊ gázfázisú temperálás 327
- ◊ Gibbs-féle fázisdiagram 67
- ◊ gölyöscsapágyacél edzése 241
- ◊ Goodman-ábra 426
- ◊ göntbgrafitos öntöttvas 170
- ◊ gradációs görbe 442
- ◊ grafit 139
- ◊ grafit-eutektikum 102

## Gy

- ◊ gyorsacél 158, 300
- ◊ gyorslágyítás (ö.v.) 317

## H

- ◊ hajlítópróba 432
- ◊ hajlítószilárdság 394
- ◊ hajlítóvizsgálat 392
- ◊ hajtogató próba 433
- ◊ hatszöges vagy hexagonális térrács 18, 21
- ◊ Heyn-Charpy-diagram 93
- ◊ hármas acél 301
- ◊ háromalkotós állapotábra 87
- ◊ hegal 179
- ◊ heterogén rendszer 66
- ◊ hevítési sebesség (acélok) 207
- ◊ hidrogénbetegség 183, 345
- ◊ hidronárium 179
- ◊ hipereutektoidos acél 103
- ◊ hipo-eutektoidos acél 103
- ◊ homogén rendszer 66
- ◊ Hooke-törvény 369
- ◊ horgany 189

- ◊ hosszútávú rendezettség 30
- ◊ hőkezelő kemencék 210
- ◊ hővezetőképesség, acélok 205
- ◊ huzalsor 443
- ◊ hűlési sebesség 247, 239

## I

- ◊ ikerkristály 41
- ◊ impulzus-visszhang eljárás 447
- ◊ ingás lágyítás 224
- ◊ inkubációs idő 112
- ◊ indukciós edzés 274
- ◊ induktor 277
- ◊ interkristallin korrózió 451
- ◊ intersticiós szilárd oldat 51
- ◊ intersticiós vegyület 65
- ◊ invár-acél 153
- ◊ ionvegyület 65
- ◊ izotermás átalakulás 109
- ◊ izotermás edzés 263
- ◊ izotermás lágyítás 229
- ◊ izotópvizsgálat 443
- ◊ Jominy-próba 253, 272

## K

- ◊ karakterisztikus röntgensugárzás 24
- ◊ karbidképzők 146
- ◊ karbidok 146
- ◊ karbonitrálás 236
- ◊ katódrez 183
- ◊ károsodás határvonala 423
- ◊ károsodások halmozódásának elmélete 420
- ◊ kemence-normalizálás 267
- ◊ keményölom 181
- ◊ keményölom hőkezelése 348
- ◊ keménységvizsgálat 398
- ◊ kémiai korrózió 449
- ◊ képlékeny alakváltozás 40
- ◊ képlékeny anyagok 358
- ◊ kéregedzés 274
- ◊ kéregöntvény 172
- ◊ kifáradási határ 416
- ◊ kiválás 85
- ◊ kiválásos keményítés 291
- ◊ koagulálás 86
- ◊ koncentrációs diffúzió 52
- ◊ koncentrátor 278
- ◊ kontrakciós nyúlás 362

- ◊ koordinációs szám 41
- ◊ korlátlan oldóképesség 79
- ◊ korlátozott oldóképesség 82
- ◊ korrózió 449
- ◊ köbös térrács 18
- ◊ kötöttség 390
- ◊ kristálycsíra 30
- ◊ kristályosodás 28
- ◊ kristályosodási képesség 31
- ◊ kristályosodási sebesség 32
- ◊ kristályos szerkezet 16
- ◊ kristályrendszerek 17
- ◊ krisztallitok 31
- ◊ kritikus hőmérsékletek 62
- ◊ kritikus hűtési sebesség 120, 130, 239
- ◊ króm-acélok 153
- ◊ kromálás 311
- ◊ kúszás 379
- ◊ kúszáshatár 384
- ◊ kúszó keresztmetszetcsökkenés 384
- ◊ kúszó nyúlás 384
- ◊ kúszószilárdság 384

## L

- ◊ lapközpontos szabályos térrács 20
- ◊ lappangási idő 112
- ◊ lágyítás, egyszerű 222, ingás 224
- ◊ lágynitrálás 308
- ◊ lángezés 279
- ◊ ledeburit 100
- ◊ lehűlési görbe 68, 244
- ◊ lengőszilárdság 416
- ◊ lépcsős edzés 262
- ◊ likvidusz 70
- ◊ lineáris rács 17
- ◊ Locati-féle gyorsfárasztás 422
- ◊ lúgos elridegedés 161
- ◊ Lüders-vonalak 41
- ◊ lüktetőszilárdság 416

## M

- ◊ magnézium 181
- ◊ magnéziumötvözetek hőkezelése 344
- ◊ mangán-acélok 150
- ◊ maradékaustenit 127, 257
- ◊ martensit 120, 141
- ◊ martensites átalakulás 114
- ◊ Maurer-diagram 166

471

mágneses öregedés 298  
mágneses repedésvizsgálat 436  
• megeresztés 242  
megeresztési ridegség 272  
megújulás 56  
melegedés 261  
melegfolyáshatár 378  
melegtörés 164  
mesterséges öregítés 294  
metastabilis kristályosodás 96  
mélyhúzó (Erichsen) próba 433  
mélyhűtés 257  
mérleg szabály 69  
 $M_f$  hőmérséklet 114  
Miller-indexek 22  
mikrokeménység mérése 406  
modifikálás 169  
mikrokorrózió 451  
molibdén mint acélötvöző 159  
mozaikblokk 38  
 $M_s$  hőmérséklet 114

## N

nemesfémek 193  
• nemesítés 269  
nemesítési diagram 271  
nikkelacélok 152  
nikkel lágyítása 348  
• nitrálás 288  
nitrocementálás 286  
normalizálás 226, 266  
normális különválás 231

## Ny

• nyersvas 101, 103  
nyíróvizsgálat 397  
nyomóvizsgálat 389

## O

ólom 190  
olvadáspont 28  
ón 192  
• ónbronzzal 187  
ón-pestis 61  
orrpont 113  
oszlopos kristallitképződés 33

472

## Ö

öndiffúzió 52  
öntödei nyersvas 103  
• öntöttvas 165  
• öregedés 161, 292  
• ötvözet 64  
• ötvöztelen acél 104  
• ötvözött acél 142

## P

paraméter 16  
patentozás 267  
patina 184  
páciditás 163  
pehelyesség 163  
penetráló folyadékvizsgálat 438  
peritektikus reakció 79, 96  
• perlit 96, 98, 125, 139  
• perlités átalakulás 112  
perlit-martensites Cr-acél 156  
Poldi-keménység 408  
poliéderes dermedés 31  
polikristallin fém 33  
polimorfizmus 61  
• primercementit 100  
primer kristályosodás 74  
primitív térrács 19  
proeutektoidos cementit 127  
proeutektoidos ferritkiválás 118, 127

## R

rácsállandó 19  
rácselem 21  
rácshiba 38  
rácsméret 16  
rácshibásrendezetlenség 37  
rekrisztallizáció 57, 218  
rekrisztallizációs szemcsedurvulás 221  
rendezett rácsú szilárd oldat 50  
reventes izzítás 203  
rezisztencialépcső 157  
• réz 183  
• rézötvözetek hőkezelése 345  
rideg anyagok 358  
Rockwell-keménység 403  
röntgenvizsgálat 439

rövidtávú rendezettség 30  
rugalmas alakváltozás 36  
rugalmasság határa 365  
• rugalmassági modulusz 369

## S

• sárgaréz 185  
Shore-keménység 409  
síkbeli atomsűrűség 23  
síkcsoport 23  
síkrács 17  
Si mint acélötvöző 160  
sorbit 120, 126  
stabilis kristályosodás 101  
steadit 167  
súlyszázalék átszámítása atomszázalékra 52

## Sz

szabad energia 21, 108  
szabályos vagy köbös térrács 18  
szakítódiagram 357  
szakítógépek 374  
szakítókérdés 355  
• szakítószilárdság 360  
szegregálás 85  
• szekunder cementit 86, 99  
szekunder kiválás 83  
szellőzési elempár 457  
szemcséhatár 39  
szemcséhatárkorrózió 156, 451, 454  
szemcsenagyság jelzőszáma 60  
szemcsenövekedés 58  
szemcsés dermedés 31  
szemcsés perlit 118, 135  
szerkezeti acél 103  
szerszámacél 103  
szferoidit 86, 135, 137, 141, 269  
szferoidizálás 86, 137, 223  
• szferolit kristallitképződés 34  
szigma-fázis 154  
szilárd oldat 49  
szilikálás 311  
szilumin 180  
szinalumínium 175  
szinalumínium lágyítása 331  
• színrez lágyítása 345  
• színvas 95  
• szivós anyagok 358

szkleroszkóp 409  
• szolidusz 70  
• szövetdiagram 76  
szubsztitúciós szilárd oldat 49, 142  
szulfidálás 312  
szürke nyersvas, szürkevas 102  
szürkevasöntvények edzése 312  
szürkevasöntvények feszültségcsökkentése 315  
szürkevasöntvények lágyítása 312  
szürkevasöntvények nemesítése 322

## T

tartósfolyáshatár 382  
teljes lágyítás 226  
temperálás 323  
temperöntvény 171, 323  
tenzométer 367  
• terciar cementit 85, 98  
termáledzés 262  
természetes öregítés 315  
Tetmayer-féle hajlítási szám 433  
tetragonális martensit 135  
tetragonális térrács 18  
térben középpontos (térrács) szabályos térrács 19  
térrács 17  
Ti mint acélötvöző 159  
titán 182  
tömött hexagonális térrács 21  
törőszilárdság 391  
tört edzés 261  
transzkristallizáció 34  
troostit 120, 135

## U

újra kristályosítás (folyamatos) 218  
újra kristályosodás 57  
újra kristályosodási szemcsedurvulás 221  
ultrahangvizsgálat 445

## V

valódi feszültségi diagram 369  
vanádium 159  
vas allotróp átalakulásai 62  
vaskarbid 85, 138

473

vegyeskristály 80  
vezérpont 226  
védőgáz 204  
véglapédzési vizsgálat 253  
Vickers-keménység 402  
vizből olajba edzés 261  
volfram-acélok 158  
vörösfém 189  
vöröstörés 164

## W

Widmannstätten-szerkezet 122  
Wöhler-diagram 417

## Y

Y-ötvozet 180, 343

## NÉVMUTATÓ

### A

Asszonov 325

### B

Bain 109, 126, 261  
Bertella 363  
Bunyin 165

### C

Charpy 411  
Csernov 109

### D

Davenport 109, 126, 261

### F

Fick 54  
Frank 45  
Frenkel 38

### G

Guillet 151  
Guinier 337

### H

Hadfield 151  
Honda 109

### K

Kick 407  
Kunjavszkij 318

### L

Laue 25  
Locati 422  
Louis 109  
Lozinszkij 276

### M

Mayer 407  
Miner 420  
Minkevics 286  
Mishima 298

### O

Orowan 43  
Osmond 63

### P

Palmgren 420  
Pomp 390  
Preston 337  
Prjadilov 325  
Proszvirin 286

**R**

Rabbena 363  
Read 45  
Rejtő 389  
Rose 242

**S**

Siebel 390  
Schottky 37  
Strassburg 242

**Sz**

Szaltikov 325

**T**

Tammann 72  
Taylor 43, 300  
Tetmayer 433  
Troickij 318

**W**

Wagner 37  
Wever 242  
Wöhler 417



Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. A kiadásért felel: dr. Ábrahám István vezérigazgató. Raktári szám: 44 335.  
Felelős főszerkesztő: Palojtay Mária. Felelős szerkesztő: Dr. Antal Jánosné. Utánnomásra  
előkészítette: Balassa Zsófia. Műszaki szerkesztő: Görög Istvánné. Terjedelem: 42,52 (A/5) ív.  
Kilencedik kiadás, 1996. Nyomtatta és kötötte a Dabas-Jegyzet Kft. Felelős vezető: Marosi György  
ügyvezető igazgató. Munkaszám: 96-0611