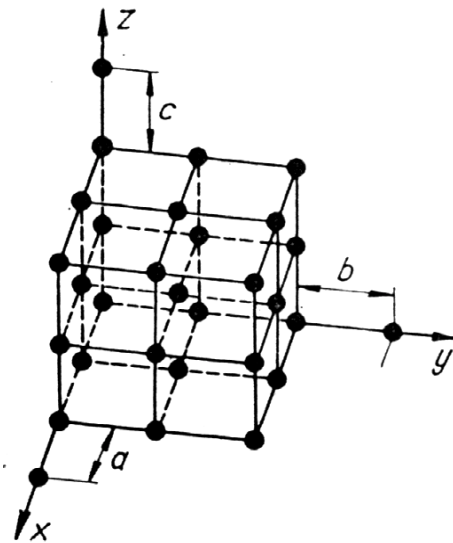


GÉPÉSZETI ANYAGISMERET

I

FÉMEK ÉS FÉMES ANYAGOK

Írta: Dormán Lajos
okl.gépészmérnök, főiskolai tanár



Újvidék, 2001

Tartalomjegyzék:

1. Gépipari anyagok jellemzői	1
1.01. Az anyagok vegyi jellemzői	1
1.02. Az anyagok fizikai jellemzői	2
1.03. Az anyagok mechanikai jellemzői	3
1.04. Az anyagok technológiai jellemzői	4
2. Anyagvizsgálat	5
2.01. Az anyagok mechanikai tulajdonságainak vizsgálata	6
2.01.01. Szakítóvizsgálat	6
2.01.02. Nyomóvizsgálat	10
2.01.03. Hajlítóvizsgálat	11
2.01.04. Nyíróvizsgálat	12
2.01.05. Csavaróvizsgálat	13
2.01.06. Keménységmérés	13
2.01.06.01. Keménységmérés Brinell szerint	14
2.01.06.02. Keménységmérés Vickers szerint	15
2.01.06.03. Keménységmérés Rockwell szerint	16
2.01.06.04. Keménységmérés Poldi-kalapáccsal	17
2.01.06.05. Shore-féle keménység mérés	18
2.01.06.06. Duroszkópos keménység mérés	18
2.01.07. Bemetszett próbatest ütvizsgálata	21
2.01.08. Fárasztóvizsgálat	21
2.02. Hibakereső vizsgálatok	22
2.02.01. Mágneses repedésvizsgálat	22
2.02.02. Radiografiai vizsgálatok	22
2.02.03. Izotópvizsgálat	23
2.02.04. Ultrahangvizsgálat	23
2.03. Technológiai próbák	24
2.03.01. Hajlító- és hajtogató próba	24
2.03.02. Mélyhúzó próba	25
2.04. Szikrapróba	26
2.05. Korróziós vizsgálatok	26
2.05.01. A korrózió fogalma és fajtái	26
2.05.02. Felületi korróziós vizsgálatok	27
2.05.03. Szemcsehatár- korrózió vizsgálata	27
2.05.04. Feszültségkorrózió vizsgálata	28
2.06. Szövetszerkezet-vizsgálat	28
3. Az anyag szerkezete	30
3.01. Bevezetés	30
3.02. Fémek kristályrendszerei	30
3.03. Színfémek kristályosodása	31
3.04. Egyfázisú fémek anyagok rugalmas alakváltozása	34
3.05. Rácsrendezetlenségek	34
3.06. Képlékeny alakváltozás	35
3.07. Szilárd oldatok	36
3.08. Diffúzió	37
3.09. Fémek hidegalakítás utáni lágyulása	37
3.10. Szemcsenövekedés és hatásai	38
3.11. Poliformizmus, allotrópia	39
3.12. Az ötvözet fogalma	39
3.13. Rendszerek egyensúlya	40
3.14. Kétalkotós egyensúlyi diagramok	41
3.15. Esményi kétalkotós egyensúlyi diagramok (binér állapotábrák)	42
3.16. Kiválások, szegregálások	54
3.17. Háromalkotós ötvözetek állapotábrái	55
4. A vas és ötvözetek	57
4.01. A szénvas	57
4.02. A nyersvas előállítása	57
4.03. Az acél előállítása	58
4.04. A vas-karbon ötvözetek egyensúlyi diagramja	58
4.05. Az Fe-C ötvözetek metastabilis kristályosodása	60
4.05.01. Primer kristályosodás	61
4.05.02. Szekunder kristályosodás	62
4.06. Gyakorlati Fe-C ötvözetek	64
4.07. Az egyes szövetszerkezetek tulajdonságai	64
4.08. A metastabilis állapotú szövet- és fázisdiagram	65
4.09. A szénacél szilárdsági tulajdonságai	66
4.10. A szennyező anyagok hatása	67
4.11. Az ötvöző anyagok hatása	68
4.12. Az acélfajták jelölése	69
4.13. Az acélok felosztása	70
4.13.01. Az acélok felosztása kémiai összetételük alapján	70
4.13.02. Az acélok felosztása felhasználásuk alapján	70
4.13.03. Acélöntvények	74
4.14. Az öntöttvas előállítása	75
4.15. Az öntöttvas fajtái	75
4.15.01. Szürketöretű öntöttvas	76
4.15.02. Különleges öntöttvasak	76
4.15.03. Fehértöretű öntöttvas	77
4.16. Az öntöttvasfajták jelölése	78
5. Színes fémek és ötvözetek	79
5.01. Alumínium és ötvözetek	79
5.02. Magnézium és ötvözetek	81
5.03. Titán és ötvözetek	82
5.04. Réz és ötvözetek	82
5.05. Nikkel és ötvözetek	86
5.06. Szuperötvözetek	86
5.07. Nehezen olvadó fémek	86
5.08. Könnyen olvadó fémek	87
5.08.01. Cink (horgany) és ötvözetek	87
5.08.02. Ólom és ötvözetek	88
5.08.03. Ón és ötvözetek	88
5.09. Nemes fémek	89

1. GÉPIPARI ANYAGOK JELLEMZŐI

A gépszerkesztés folyamán a szerkesztő az anyagokat azok jellemzői alapján választja ki. A könnyebb eligazodás érdekében az anyagok jellemzőit négy csoportba szokás sorolni. Ezek a következők:

1. vegyi jellemzők,
2. fizikai jellemzők,
3. mechanikai jellemzők és
4. technológiai jellemzők.

1.01. AZ ANYAGOK VEGYI JELLEMZŐI

Az anyagok „építőkövei” az atomok (egyes esetekben a molekulák), amelyek meghatározott kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. Az atomok kisebb részecskékből tevődnek össze, melyek közül legfontosabbak a protonok, a neutronok és az elektronok. A pozitív töltésű protonok és a semleges neutronok alkotják az atommagot, amely körül különböző pályákon keringenek a negatív töltésű elektronok, ún. elektronfelhőt alkotva. Az anyagszerkezetben az atomok jelölésének általában két módja honosodott meg: az atommag pillanatnyi helyzetét kis körrel (ponttal) vagy gömbbel jelölik, melynek átmérője az atom átmérőjére utal.

Az egyes anyagokban az atomok különböző kémiai kötésekkel kapcsolódnak egymáshoz, amelyek az atomok közötti kölcsönhatások révén alakulnak ki. A kötések típusa meghatározza az atomok egymáshoz viszonyított térben való elrendeződését és ezen keresztül az anyagok tulajdonságait is.

A műszaki gyakorlatban a kémiai kötések három típusát szokták megkülönböztetni:

- ionos kötés,
- kovalens kötés és
- fémes kötés.

Ezek a kötéstípusok határesetek, melyek között számos átmenet ismert. Közös vonásuk, hogy stabil kémiai kötés csak akkor jöhet létre, ha az összekapcsolt atomrendszer energiaszintje alacsonyabb a különálló atomok energiaszintjének az összegénél.

Az **ionos kötés** különböző elektromos töltéssel ellátott atomok vagy atomcsoportok között jön létre. Az ionos kötésű vegyületek vízben oldódnak, ridegek és kemények. Rossz villamos vezetők, de oldatuk és olvadékuk vezet az elektromos áramot. Ilyen kötés jön létre pl. a pozitív töltésű nátrium (Na) és a negatív töltésű klór (Cl) között, amikor nátriumklorid (NaCl), azaz konyhasó alakul ki.

A **kovalens kötés** általában azonos vagy kémiaiilag nem túlságosan különböző természetű atomok között jön létre. A kötést mindkét atomhoz tartozó elektronpár valósítja meg, így az atomok semlegesek maradnak. Ez a szimmetrikus töltéseloszlás csak azonos atomokból álló, kétatomos molekuláknál valósul meg. Ez a kötésfajta főleg a gázoknál jelentkezik. Így alakul ki pl. a hidrogén kétatomos molekulája (H₂).

A **fémes kötés** a fémekre jellemző. Ennél a kötésnél az atomok külső pályájáról elektronok válnak le, amelyek az atommagok közötti teret töltik ki. Az elektronokat leadó atom pozitív töltésűvé válik, míg az elektronfelhő negatív töltéssel bír, így a köztük kialakult vonzóerő összetartja a részecskékből álló tömeget. Eközben az atommagok a hozzájuk kötődő elektronokkal egy szabályos térbeli alakzat (kristályrács) meghatározott pontjain foglalnak helyet, az atomok külső pályájáról levált elektronok pedig kitöltik a köztük levő teret, nem kötődve egyik atomhoz sem. Ezeknek a szabad elektronoknak köszönhetően, a fémek különleges tulajdonságokkal bírnak, mint pl. a villamos- és hőenergia vezetésének a képessége, valamint a képlékeny alakíthatóság.

A gépipari anyagok vegyi jellemzőinek a meghatározói:

- az anyag vegyi összetétele,
- az anyag más anyagokhoz való affinitása és
- a korrózióállóság.

Az **anyag vegyi összetétele** igen fontos tényező, mert közvetlenül kihat az anyag minden más jellemzőjére. Így pl. a vegyileg tiszta vas igen puha anyag, viszont ha karbont (szén) adnak hozzá, akkor a keménysége a szén tartalmától függően lényegesen megnő. Ezenkívül a széntartalom feljavítja a többi mechanikai jellemzőt is.

Egy **anyag affinitása** azt mutatja meg, hogy milyen mértékben képes az anyag más anyagokkal kémiaiilag kötődni és ily módon új vegyületeket létrehozni.

Az oxigénnek igen erős az affinitása, és ha más anyagokkal egyesül, akkor különböző oxidok keletkeznek. Így pl. nagyon könnyen egyesül a vassal, és vasoxidot hoz létre, amit rozsdának is neveznek. Mivel a rozsdá porózus, az oxidáció állandóan beljebb hatol az anyagba, így annak a mechanikai jellemzőit folyamatosan rontja, ami lényegesen megrövidíti a vasalapú szerkezeti elemek karbantartását. Ez a veszély nem áll fenn a nemes- (ezüst, arany, platina) és a rozsdamentes fémeknél (króm, nikkal stb.), melyeknek egyáltalán nincs affinitásuk az oxigénnel szemben, vagyis ezek a fémek nem

oxidálódnak. Viszont vannak olyan fémek (alumínium, ólom stb.), amelyeknél a felületen vékony homogén oxidréteg alakul ki, és ez megakadályozza a további oxidációt.

A **korrózióállóság** azt jelenti, hogy az anyag képes ellenállni a környezet káros vegyi hatásának. Ez alatt elsősorban az oxigén, a víz, a különböző savak, lúgok, sók és más vegyileg agresszív anyagokkal szembeni ellenállás értendő, amelyek gyorsan tönkretelhetnék a szerkezeti elemeket.

1.02. AZ ANYAGOK FIZIKAI JELLEMZŐI

Egyes fizikai jellemzőik alapján az anyagok viszonylag könnyen megkülönböztethetők egymástól, mivel azok már szabad szemmel is érzékelhetők. Ilyen a szín, a kinézet, a halmazállapot. Más jellemzők viszont műszaki szempontból fontosak. Ezeket csak bizonyos mérési eljárásokkal lehet megállapítani. Ide tartozik: a szerkezet, sűrűség, olvadáspont, fajhő, villamos- és hővezetési képesség, mágnesesség stb.

Az anyag **szerkezete** azt mutatja, hogy az anyag belsejében hogyan rendeződnek el az atomok. Ez az elrendezés a legtöbb esetben döntő befolyással bír az anyag többi jellemzőjére is.

A **sűrűség** az egységnyi térfogatra eső tömeget fejezi ki. A jele ρ , mértékegysége pedig általában kg/dm^3 . A sűrűség alapján a fémeket két csoportra szokás osztani:

- könnyű fémek, ha $\rho \leq 5 \text{ kg}/\text{dm}^3$ és
- nehéz fémek, ha $\rho > 5 \text{ kg}/\text{dm}^3$.

Az 1.01. táblázat néhány fém sűrűségét adja meg.

1.01. táblázat. Néhány fém sűrűsége kg/dm^3 – ben.

Fém	ρ	Fém	ρ	Fém	ρ
Li	0,54	Cr	7,10	Ni	8,90
Mg	1,74	Zn	7,13	Cu	8,93
Be	1,85	Sn	7,30	Mo	10,20
Al	2,70	Mn	7,40	Pb	11,34
Ti	4,30	Fe	7,86	W	19,20
V	5,30	Co	8,60	Au	19,30
Sb	6,70	Cd	8,70	Os	22,50

Az **olvadáspont** (t_{olv}) az a hőmérséklet, amelyen a szilárd anyag cseppfolyós halmazállapotba megy át. Színfémeknél ez egy meghatározott hőmérsékletet, míg ötvözeteknél általában egy hőmérséklettartományt jelent. Ez a jellemző főleg azoknál a fémeknél jelentős, amelyekből öntéssel állítanak elő alkatrészeket. Az olvadáspont alapján a fémek három csoportba sorolhatók:

- könnyen olvadók ($t_{olv} < 950 \text{ }^\circ\text{C}$),
- közepesen olvadók ($t_{olv} = 950 \dots 2000 \text{ }^\circ\text{C}$) és
- nehezen olvadók ($t_{olv} > 2000 \text{ }^\circ\text{C}$).

Néhány fém olvadáspontját növekvő sorrendben az 1.02. táblázat tartalmazza.

1.02. táblázat. Néhány fém olvadáspontja $^\circ\text{C}$ -ban

Fém	t_{olv}	Fém	t_{olv}	Fém	t_{olv}
Li	178	Al	660	Fe	1536
Sn	232	Au	1063	Cr	1565
Cd	321	Cu	1083	V	1715
Pb	327	Mn	1260	Pt	1774
Zn	419	Be	1278	Os	2500
Sb	630	Ni	1452	Mo	2600
Mg	650	Co	1490	W	3370

Hevítésnél a fémek és ötvözeik térfogata növekszik és az olvadáspontnál eléri a maximális nagyságát. Ezért a kokillát, ill. az öntőmintát megfelelően nagyobbra készítik, így a lehülő öntvény a szükséges méretre zsugorodik. Néhány fém és ötvözet %-os hőtágulását az 1.03. táblázat közli.

1.03. táblázat. Néhány anyag %-os hőtágulása

Fém	%-os hőtág.	Fém	%-os hőtág.
Fehérfém	0,50	Mg- ötvözetek	1,25...1,50
Ön	0,78	Bronz, sárgaréz	1,50
Öntöttvas	1,00	Temperöntvény	1,60
Ólom	1,10	Cink	1,60
Réz	1,25	Aluminium	1,70
Al-ötvözetek	1,1...1,25	Acélok	2,00

Az **villamos vezetőképesség** alapján vezető, félvezető és szigetelő anyagok különböztethetők meg. A villamos vezetőképesség főleg a fémes anyagok tulajdonsága, de mértéke igen eltérő lehet. A fémes vezetők a villamosságot a potenciálkülönbség hatására elmozduló szabad elektronok mozgása révén vezetik. A gyakorlatban sokkal fontosabb tulajdonság a villamos vezetőképesség reciprok értéke, amit **ellenállásnak** neveznek.

A **mágnesesség**¹⁾ az anyagnak olyan általános tulajdonsága, mely a kristályszerkezettől függ. A különböző anyagok mágneses viselkedését az anyagot felépítő részecskék mágneses momentuma határozza meg. A saját mágneses momentum pályá- és spinmomentumból tevődik össze. Az első az elektronok mag körüli keringéséből, míg a másik az elektronok saját tengelyük körüli forgásából adódik. Ez utóbbit spinnek (perdületnek) nevezik. Az elektronok mozgása különböző irányítású lehet, ebből kifolyólag a momentumok irányítása is különböző: pozitív vagy negatív. Ha a részecskék momentumainak az összege nulla, akkor az anyagnak nincs mágneses tulajdonsága. Ez az eset áll fenn a legtöbb fémes anyagnál.

¹⁾Időszámításunk előtt 2600 körül Magnészia kisázsiai város közelében olyan ásványt találtak, amely magához vonzotta a vastárgyakat. A városról az ásványt magnetitnek (Fe_3O_4), a jelenséget pedig mágnesességnek nevezték el.

Néhány fémnél azonban a részecskék mágneses momentuma egyforma irányítású, ezért ezek a fémek (Fe, Co, Ni) kifejezett mágneses tulajdonsággal bírnak. Ezekből a fémekből készült testek állandó mágneket alkotnak, amely kétpólusú: pozitív és negatív (észak és dél). A különböző nemű pólusok vonzák, míg az egyenműek taszítják egymást.

A mágnesesség alapján az anyagok három csoportba sorolhatók:

- ferromágnesesek,
- diamágnesesek és
- paramágnesesek.

A **ferromágneses anyagok** erős mágneses tulajdonságokkal rendelkeznek, ill. jól mágnesezhetőek. Ebbe a csoportba tartozik a már említett három fém, azaz a vas (Fe), kobalt (Co) és a nikkell (Ni), valamint ezek ötvözetei. Ezenkívül egyes réz- és a mangánvegyületek. Állandó (permanens) mágneket csak ferromágneses anyagokból lehet készíteni.

A **diamágneses anyagok** mágneses tulajdonsága kifejezetten gyenge. Ebbe a csoportba tartozik a bizmut (Bi), cink (Zn) és a réz (Cu).

A **paramágneses anyagok** egyáltalán nem rendelkeznek mágneses tulajdonsággal. Ebbe a csoportba tartozik pl. az alumínium (Al), a mangán (Mn), a volfrám (W) stb.

1.03. AZ ANYAGOK MECHANIKAI JELLEMZŐI

A gépészeti gyakorlatban legfontosabbak az anyagok mechanikai jellemzői, mert ezek utalnak az anyag külső erők hatása alatti viselkedésére. A leglényegesebb mechanikai jellemzők a következők:

- szilárdság,
- keménység,
- rugalmasság és
- szívósság.

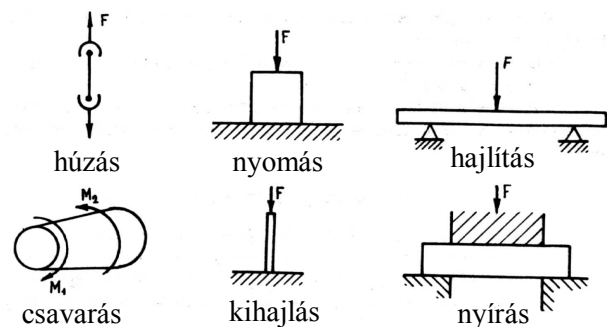
A **szilárdság** az anyagban a külső erők (terhelések) hatására jelentkező ellenállás, azaz a teherbírás mutatója. Mivel a külső erők többféle képpen fejthetik ki hatásukat, ezért az anyag – megfelelően reagálva – különböző szilárdsági jellemzőket mutat fel. Így megkülönböztethető: *húzó-, nyomó-, hajlító-, nyíró- és csavarószilárdság*.

A terhelések alaptípusait az 1.01. ábra mutatja be.

Húzásnál az erő a testet tengelyirányban (axiálisan) terheli, melynek hatására a testben húzófeszültség (ez normális feszültség, a jele $\sigma_{hú}$) keletkezik. A terhelés kifelé hat és igyekszik a testet megnyújtani. Az anyag a terhelésnek húzószilárdságával áll ellent.

Nyomásnál a terhelés szintén axiális, de az erők érteleme fordított, vagyis azok befelé hatnak és igyekeznek a testet összenyomni. Ennek hatására a testben nyomófeszültség ($-\sigma_{ny}$) keletkezik. Az alakváltozást az anyag nyomószilárdsága ellensúlyozza.

A **kihajlás** a nyomásnak egy igen veszélyes fajtája, ami akkor áll elő, ha a test keresztmetszete a hosszszárhoz viszonyítva kicsi, vagyis a test „karcsú”. Ez a megterhelési mód tönkretelheti az alkatrészt, mert a nyomófeszültséghez hajlítófeszültség is társul és ezek együttesen adják az ún. törőfeszültséget ($\sigma_{tö}$), amely gyorsan meghaladja a test teherbírását.



1.01. ábra. A terhelések alaptípusai

Hajlítás esetén a két pontban alátámasztott vagy egyik végén befogott tartó hossz tengelyére a terhelés merőlegesen hat. Ennek következtében a tartó behajlik és a homorú rész szálai összenyomódnak, a domború részen pedig megnyúlnak. Kivétel a semleges szál, amely a hossz tengely közelében van és csak az alakját változtatja, de a hosszát nem. A deformációt az anyag hajlítószilárdsága ellensúlyozza. A testben a hajlítófeszültség (σ_h) a mérvadó.

Nyírás akkor jelentkezik, amikor a tartó olyan rövid, hogy a keresztirányú terhelés nem válthat ki hajlítást, hanem a test az erő hatásvonalának síkjában elnyíródik. Ezt az anyag nyírószilárdsága igyekszik megakadályozni. A terhelés a testben nyírófeszültséget (ez tangenciális vagy csúsztató feszültség, a jele τ_{ny}) vált ki.

Csavarás akkor jelentkezik, amikor egy befogott tartóra erőpár hat a tartó hossz tengelyére merőleges síkban. A test elcsavarodását a csavarószilárdság akadályozza. Az anyagban csavarófeszültség (τ_{cs}) alakul ki.

Keménység az anyag felületének más test behatolásával szembeni ellenállása. E tulajdonság nagysága különböző módon határozható meg. Mindegyik módszernél a behatoló test keménysége, alakja és méretei szabványosítottak. Mivel ez a test keményebb a vizsgált anyagénál, a meghatározott nagyságú nyomóerő hatására az anyag felületén marad

alakváltozás jön létre, melynek alapján a keménység számszerű értéke kiszámítható.

A **rugalmasság** azt mutatja, hogy mekkora terhelést bír el az anyag maradó alakváltozás nélkül.

A **szívósság** az anyag olyan tulajdonsága, amellyel ellenáll a dinamikus terhelések hatásának. Ellentéte a **ridegség**. A rideg anyagok csak igen kis mértékben szenvednek rugalmas alakváltozást, a terhelés hatására inkább törnek.

1.04. AZ ANYAGOK TECHNOLÓGIAI JELLEMZŐI

A technológiai jellemzők az anyag alakíthatóságára és megmunkálhatóságára utalnak. Mivel az anyagok nem egyformán viselik el a különböző technológiai eljárások során jelentkező alakváltozásokat, már a szerkesztőnek figyelembe kell vennie az anyag kiválasztásánál annak technológiai jellemzőit. Ide tartoznak az:

- önthetőség,
- képlékeny alakíthatóság,
- hegeszthetőség,
- forraszthatóság,
- forgácsolhatóság,
- hőkezelhetőség stb.

Az **önthetőség** a fémek anyag öntéssel való alakíthatóságára utal. Ez a megmunkálási mód a melegalakítások csoportjába tartozik, mert az öntés előtt az anyagot olvadáspontjára kell hevíteni és addig tartani e hőfokon (vagy magasabban), amíg az teljes egészében meg nem olvad. Utána formákba öntik. Ahhoz, hogy az olvadék jól kitöltse a formát, az anyagnak **híg folyós** kell lennie. A híg folyóságot bizonyos anyagok hozzáadásával – ötvözzel – növelni lehet.

A hűlés folyamán az anyag **zsugorodik** mindaddig, amíg szobahőmérsékletre nem hűl. A zsugorodás nagysága főleg az anyag összetételétől függ. A dermedés során **zsugorodási üregek** keletkezhetnek, főleg nagyobb falvastagság esetén, de ennek a veszélye csökkenthető irányított megszilárdulással, ami viszont belső feszültségeket, vetemedéseket és repedéseket okozhat. Ha az anyagnak a gáz elnyelő képessége nagy, a dermedéskor **gázos záródmányok** alakulhatnak ki, ami csökkenti az öntvény tömörségét.

A **képlékeny alakíthatóság** olyan tulajdonság, ami azt mutatja, hogy az anyag mennyire munkálható meg képlékeny alakítással. Képlékeny alakításnál a szilárd testet külső erőkkel anyagvesztés nélkül alakítják, tehát az anyag térfogata nem változik.

Attól függően, hogy az alakítás a rekristallizációs hőmérséklet alatt vagy felett megy végbe, megkülönböztethető hideg- vagy melegalakítás. Mindkét csoportba többféle technológiai eljárás tartozik. Ezek közül a legismertebbek:

Hideg alakítások: hideghengerlés, húzás, sajtolás (vágás, hajlítás), mélyhúzás, hidegfolytatás.

Meleg alakítások: meleghengerlés, húzás, kovácsozás, sajtolás.

A képlékeny alakváltozás megindulásának alapfeltétele, hogy az anyagban keletkező feszültségek meghaladják a folyáshatárt (az anyag jellemző feszültségei később kerülnek tárgyalásra). A ilyen típusú alakváltozásra a Hook-féle törvény nem alkalmazható. A képlékeny alakíthatóság a fémek anyagok kristálytani rácsszerkezetéből és a fématomok egymáshoz való helyzetéből adódik. Meghatározott kristályszerkezeteknél csúsztató síkok és irányok alakulnak ki és a maradó alakváltozás során a kristályok egyes részei e síkok mentén egymáson elcsúsznak anélkül, hogy az anyag szétválna. Ez természetesen csak homogén anyagokra érvényes, mivel anyagszerkezeti hibák esetében ezek a hibák az alakítás során megmaradnak.

A legtöbb színes fém, az acél egyes fajtái és bizonyos ötvözetek jól alakíthatók képlékenyen, egyesek már hidegen is, míg mások csak melegen, mivel magasabb hőmérsékleten az anyag belső ellenállása csökken.

A **hegeszthetőség** az anyagnak olyan tulajdonsága, amely lehetővé teszi két tárgy összekötését, amely kötés roncsolásmentesen nem oldható. A **hegesztés** azonos vagy közel azonos fémek anyagok kohéziós kapcsolatának létrehozása az anyagok ömlesztési hőmérséklete felett külső erő hatása nélkül. Ez az ömlesztőhegesztés. (Meg kell jegyezni, hogy létezik ún. sajtolóhegesztés is, amely alacsonyabb hőmérsékleten külső erő hatására jön létre, sőt egyes fémek esetében már szobahőmérsékleten is megvalósítható – ez a hideghegesztés).

Az ömlesztőhegesztés magas hőmérséklet hatása alatt, anyag (elektróda) hozzáadása mellett jön létre. Az egyesítendő részek és az elektróda anyaga helyileg határolt közös folyékony forrássá olvad össze és dermedés útján létrejön a szilárd kötés. A kialakult varrat öntési szerkezetű átömlesztett fémből áll. A varrat anyaga a magas hegesztési hőmérsékleten túlhevül és vegyi aktivitása a környező gázokkal megnő. Néhány ötvözőelem kiég, a megnövekedett gázoldóképesség miatt a forrás viszonylag nagy mennyiségű gázt nyel el és más szennyeződések is felvesz. Ez mind rontja a varrat minőségét.

A korszerű hegesztési eljárásoknál a varrat anyagát a levegő káros hatása ellen elektródabevonattal, fedőporral, védőgázburokkal stb. védik. Ezek az eljárások nagymértékben javítják a varrat minőségét. A gyors hűlés következtében kialakult belső feszültségek megfelelő hőkezeléssel csökkenthetők.

A **forrasztás** a hegesztéshez hasonlóan hőhatáson alapuló kötőeljárás azzal a különbséggel, hogy alacsonyabb hőmérsékleten történik és az eljárás alatt csak a forrasz olvad meg. A megolvadt forrasz csak nedvesíti az alkatrészek (alapanyag) felületét anélkül, hogy azzal összeolvadna. A kötést kizárólag atomos és molekuláris erők hozzák létre. Nagy előnye, hogy az alapanyag csak kis mértékben hevül fel, szerkezete és tulajdonságai nem változnak, nem vetemedik, így belső feszültségek nem alakulnak ki.

Azt a legalacsonyabb hőfokot, amelynek az érintkezési helyen meg kell lennie, hogy a forrasz nedvesítsen és az alapanyaghoz kössön, **munkahőfoknak** hívják. A munkahőfok alapján a forrasztási eljárás két nagy csoportra osztható:

- lágyforrasztás – 450 °C alatt, és
- keményforrasztás - 450 °C felett.

Lágyforrasztásnál a forrasz az alapanyaggal csak adhéziós kapcsolatot létesít, míg a keményforrasztásnál az adhéziós kapcsolaton kívül az alapanyag szemcséi közé is diffundál.

Lágyforrasztásnál a kötés szilárdsága kicsi. Ezért főleg bádogosmunkáknál, elektromos vezetékek összekötésénél és tömitéseknél, hermetikus elzárásoknál alkalmazható. A forrasz anyaga nehézfémeknél Sn-Pb ötvözetek, amelyekhez még Sb, Cd és Bi is adható; könnyűfémeknél tiszta Zn vagy Zn-Sn-Cd ötvözetek kevés Al-mal.

Keményforrasztásnál a kötés szilárdsága igen jó, ezért nagyobb terheléseknél is jól bevált. A forrasz anyaga nehézfémeknél lehet Cu, sárgaréz vagy nemesfém alapú, könnyűfémeknél Al-Mg alapú ötvözetek jöhetnek számításba.

A **forgácsolhatóság** azt mutatja, hogyan munkálható meg egy anyag a felesleges részeinek forgács alakjában való leválasztásával. Az anyag felesleges részecskéinek a leválasztása elvégezhető kézi vagy gépi úton. Ez utóbbi meghatározott megmunkálógépen, megfelelő szerszám segítségével történik. Ezeket a műveleteket nevezik **forgácsolásnak**. A nyers munkadarab végleges alakra való forgácsolása a **megmunkálás**. Mivel az anyagok forgácsolhatósága igen különböző, a technológiai műveletek kiválasztásánál ez a tulajdonság meghatározó jelleggel bír.

A **hőkezelhetőség** néhány fémnek és ötvözetnek olyan tulajdonsága, amely lehetővé teszi, hogy megfelelő hőkezelési eljárással úgy változzon meg az anyag szerkezete, amely biztosítja a megkívánt mechanikai és technológiai tulajdonságokat. A hőkezelés olyan technológiai eljárás, amelynek segítségével a kész alkatrészek szövetszerkezetét és azzal együtt mechanikai, fizikai vagy kémiai tulajdonságait alakjuk megváltoztatása nélkül úgy módosítják, hogy a rendeltetésüknek megfelelő igénybevételeknek megfeleljenek. A hőkezelési eljárások folyamán a tárgyakat irányított módon célszerűen megválasztott hőmérsékletre hevítik, meghatározott ideig hőn tartják és kellő sebességgel lehűtik. Mindez az anyagtól és a hőkezelés céljától függ.

A hőkezelési eljárások néhány fő csoportra oszthatók:

- lágyító hőkezelések,
- keményítő hőkezelések,
- szívósságfokozó hőkezelések és
- különleges hőkezelések.

A hőkezelhetőség az anyag fajtájától és kémiai összetételétől függ. A fémes anyagok közül az acélok, öntöttvasak, valamint a színes- és könnyűfémek egyes ötvözei hőkezelhetőek.

Az egyes anyagok technológiai jellemzőit megfelelő kísérletekkel állapítják meg. Ún. próbamegmunkálásokat végeznek, melyek során kiderül, hogy a vizsgált anyag milyen mértékben alkalmas az egyes megmunkálási eljárásokra. A technológusnak teljes mértékben ismernie kell e jellemzőket, mert csak így képes optimális műveleti eljárást előírni.

2. ANYAGVIZSGÁLAT

A gépszerkesztés folyamán a szerkesztő az anyagok kiválasztását azok jellemzői alapján végzi, figyelembe véve a már említett kémiai, fizikai, mechanikai és technológiai jellemzőket, valamint gazdaságossági okok miatt az árukat is.

A jellemzők nagyságának a megállapítását szabványok által meghatározott vizsgálati módszerekkel kell elvégezni. Ezeket a vizsgálatokat már a nyersanyaggyártóknál elvégzik, de a biztonság kedvéért az anyag átvételénél a vevőnek is le kell ellenőriznie a gyártó cég által deklarált jellemzőket.

A jellemzők vizsgálatának négy csoportját megfelelően szakosodott laboratóriumokban végzik. Mivel ezek közül csak a mechanikai tulajdonságok meghatározása tartozik az anyagismeret körébe, ezért a következőkben csak ezek a vizsgálati módszerek kerülnek ismertetésre.

2.01. AZ ANYAGOK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

A szállítmányból az előírt módon próbaanyagot kell venni, amelyből kimunkálják a vizsgálathoz szükséges próbatestet. Az anyagvizsgáló eljárásoknál az üzemkötésben jelentkező különböző terheléseket egyszerű terhelésekkel helyettesítve, a próbatestet általában törésig, vagy legalábbis nagymérvű alakváltozásig terhelik.

A mechanikai vizsgálatok a próbatestre ható igénybevételek alapján az alábbi főcsoportokra oszthatók:

- 1) **Sztatikai vizsgálatok.** Ezekre jellemző, hogy az igénybevétel időben állandó. Ide tartoznak a szobahőmérsékleten végzett lassan növekvő húzó-, nyomó-, hajlító-, nyíró- és csavaróigénybevételre végzett vizsgálatok, valamint a keménységvizsgálatok nagy része.
- 2) **Dinamikus vizsgálatok.** A legjellemzőbb dinamikus igénybevétellel járó vizsgálat a szívósságvizsgálat ütőmű alkalmazásával.
- 3) **Fárasztóvizsgálatok.** Ezeknél a vizsgálatoknál a sokszor ismétlődő igénybevétel a jellemző. A cél az anyag kifáradási határának a terhelés nagyságától függő meghatározása.

Ezenkívül a kész alkatrészeket **hibakereső vizsgálatoknak** szokás alávetni, amelyek a felszíni vagy belső repedések, rejtett belső folytonossági hiányok felderítésére szolgálnak. Ezek az eljárások az alkatrész épségét nem veszélyeztetik, ezért a más jellegű eljárásoktól való megkülönböztetésül, **roncsolómentes vizsgálatoknak** is nevezik őket.

2.01.01. Szakítóvizsgálat

A szakítóvizsgálat célja, hogy meghatározza az anyag húzóerővel szembeni ellenállását, vagyis a **húzószilárdságát**.

A vizsgálattal kapcsolatos teendőket, a próbatest alakját és méreteit, a vizsgálat lefolytatását, a kísérleti eredmények felvételét és kiértékelését hazánkban a JUS C.A4.002/1985 határozza meg.

A fémek anyagok legfontosabb mechanikai jellemzője a szakítószilárdság. A szakítószilárdság és a többi mechanikai tulajdonság, különösen a keménység között szoros összefüggés áll fenn, így ismerve a szakítószilárdság nagyságát, kikövetkeztethető a többi jellemző nagysága is.

Az anyag szakítószilárdságának a meghatározásához először el kell készíteni a szabvány által előírt próbatestet. Fémek anyagok vizsgálatához körvagy négyszög keresztmetszetű, ún. **arányos próba-**

testet szokás alkalmazni, amelyen három fő rész különböztethető meg:

1. a mérőhossz – l_0 , ez szolgál a mérések helyéül és ezért finoman megmunkált felülettel készül,
2. a befogófejek, amelyeket a próbatest végein alakítanak ki nagyobb keresztmetszettel a mérőhosszénál és durvább felülettel, így a befogásnál kisebb szorítóerőre van szükség (a befogófejeket menetesre is szokták készíteni) és
3. az átmeneti szakaszok, amelyek az első két részt kötik össze.

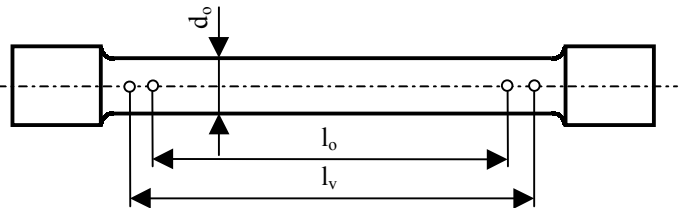
A vizsgálatot legtöbbször hengeres alakú próbatesten végzik. Ennél a mérőhossz nagysága:

$$l_0 = n \cdot d_0,$$

ahol d_0 a mérőhossz átmérője. Ennek nagysága $d_0 = 20$ mm, de megengedett kisebb átmérő is, ezért a gyakorlatban inkább a $d_0 = 10$ mm-es próbatestet használják.

Az n értéke lehet 10 vagy 5.

Ha a mérőhossz $l_0 = 10d_0$, akkor a neve **arányos hosszú próbatest**, ha pedig $l_0 = 5d_0$, akkor **arányos rövid próbatest**. Az arányos rövid próbatestet a 2.01. ábra érzékelteti.



2.01. ábra. Arányos rövid próbatest

A kisebb átmérőjű hengeres rész fokozatosan meghatározott nagyságú lekerekítési sugárral megy át a nagyobb átmérőjű befogófejbe a feszültséggyűjtőhatás csökkentése érdekében. Ez biztosítja azt, hogy a próbatest szakadása mindig a mérőhosszon történjen.

A kisebb átmérőjű hengeres rész valós hossza nagyobb a mérőhossznál az átmérő nagyságával, vagyis:

$$l_v = l_0 + d_0.$$

A vizsgálat megkezdése előtt a próbatesten be kell jegyezni a mérőhosszat, valamint a két végpont közötti osztásközöket, amelyek nagysága megegyezik a d_0 átmérővel, vagy annak a fele. Erre azért van szükség, hogy megállapítható legyen a próbatest vizsgálat alatti - terheléstől függő - nyúlása.

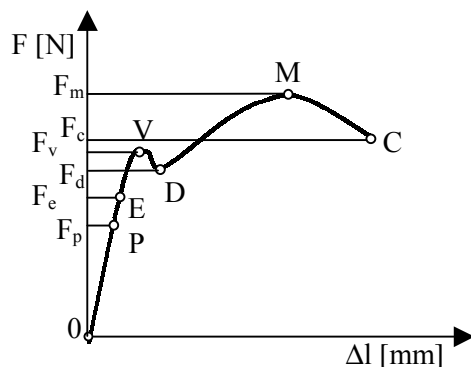
A szakítóvizsgálatot az egyetemes anyagvizsgálógépen, a központosan befogott próbatestet lassan növekvő terhelésével annak szakadásáig végzik. Vizs-

gálat közben, az erőmérő mutatója előtt tolt jelzőmutató megállása helyén, a vizsgálat során elért legnagyobb terhelés értéke leolvasható, melynek segítségével az anyag szakítószilárdsága kiszámítható. Az elszakadt próbatest pontos összeillesztése után megállapítható a próbatest maximális nyúlása, amely az anyag fajlagos nyúlásának a kiszámításához szükséges.

Az anyagvizsgáló gépek fel vannak szerelve diagramfelvevő készülékkel. E diagram a próbatest mérőhosszának megnyúlását rajzolja fel a húzóerő függvényében. Az így kapott **szakítódiagram** (2.02 ábra) bármely pontjának ordinátája a pillanatnyi húzóerőt ($F - N$), míg a vízszintes koordinátája a mérőhossz addig elért összes nyúlását ($\Delta l - mm$) adja, természetesen mindkettőt a megfelelő tengely léptékében. A szakítódiagram alakja jellemző az anyagra, ezért ez nagyon különböző lehet. Ugyanannál az anyagnál is függ a próbatest alakjától, méreteitől, a mérőhossz felületi megmunkálásától, a befogás módjától, a terhelésnövelés egyenletességétől, de főleg a szakítás sebességétől. Ebből kifolyólag csak egyformán végzett vizsgálatok eredményeit lehet összehasonlítani, ezért a vizsgálat változtatható paramétereit az eredmény megadásánál fel kell tüntetni. Mivel ez nem mindig lehetséges, ezért inkább a fajlagos (egységnyi mértékekre átszámított) jellemzőket adják meg.

Egy lágyacél szakítódiagramja a 2.02. ábrán látható.

A diagramon található néhány jellegzetes pont. A terhelés növekedését kísérve, ezek a következők:



2.02. ábra. Lágyacél szakítódiagramja

A **P** pont, amelynek az F_p erő felel meg, az arányosság (proporcionalitás) határpontja. E pontig a húzóerő nagyságával arányosan növekszik a próbatest nyúlása, tehát a közöttük levő összefüggés lineáris, így ezen a részen érvényes Hooke törvénye. Egyes esetekben a P és E pontokat egybe veszik.

Az **E** pont, amelynek az F_e erő felel meg, a rugalmassági határ. Eddig a pontig a terhelés főleg ru-

galmas alakváltozást vált ki és ha a terhelés megszűnik, a próbatest visszanyeri eredeti (vagy megközelítőleg eredeti) hosszát. A gépszerkesztésben általában ehhez a ponthoz viszonyítva határozzák meg az alkatrészek biztonsági tényezőjét.

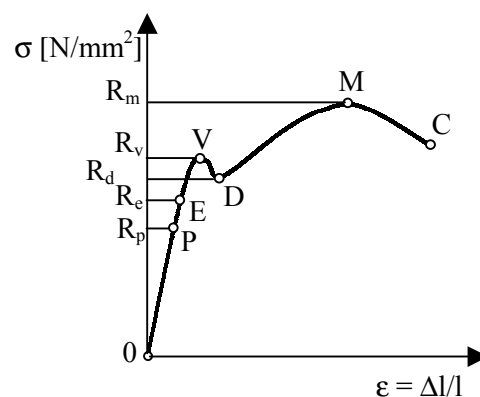
A **V** pont, amelynek az F_v erő felel meg, a folyás felső határa, amely a diagram kezdeti egyenes szakaszának a legmagasabb pontja. Ez a pont a nagymérvű maradé alakváltozások kezdete, ahol az erő növekedése szünetel, vagy akár kis mértékben csökkenhet is.

A **D** pont a folyás alsó határa, amely a nagymérvű alakváltozások legkisebb terhelésének felel meg. Anyagjellemzőként a felső határt szokás használni, mert a V pontig az alakváltozás még kis mértékű, a keresztmetszet csökkenése elhanyagolható, így az itt kialakuló feszültség valódinak tekinthető.

Az **M** pont, amelynek a vizsgálat alatt elért legnagyobb F_m megterhelés felel meg. Ettől a ponttól kezdve a húzóerő fokozatosan csökken, viszont a próbatest nyúlása tovább folytatódik, egészen a szakadási pontig.

A **C** pont a szakadási pont, amelyben a próbatest kettéválik. Ennek a pontnak az F_c erő felel meg, mégsem ezt a terhelést tartják szakítóerőnek, hanem az előbbi F_m erőt.

A gyakorlatban az $F - \Delta l$ diagram kevésbé használatos, helyette inkább az $\sigma - \epsilon$ diagramot alkalmazzák, ahol σ a feszültség, az ϵ pedig a fajlagos nyúlás. Viszont a szilárdsági mutatóként használt feszültség jele R.



2.03. ábra. Lágyacél feszültségdiagramja

Ha a diagram jellemző pontjaiban ható erőket elosztjuk a próbatest mérőhosszának eredeti keresztmetszetével (S_0), megkapjuk a pontokban uralkodó feszültségeket, azaz a megfelelő szilárdsági mutatókat.

A P pontban van a proporcionális határ¹⁾:

$$R_p = \frac{F_p}{S_0} \text{ N/mm}^2.$$

Az E pontban található a rugalmassági határ:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ N/mm}^2.$$

A V pont adja a felső, míg a D pont az alsó folyáshatárt:

$$R_v = \frac{F_v}{S_0} \text{ N/mm}^2, \text{ ill. } R_d = \frac{F_d}{S_0} \text{ N/mm}^2.$$

Az M pontban jelentkezik a legnagyobb húzóerő, ezért az itt kialakult feszültség az anyag szakítószilárdsága:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \text{ N/mm}^2.$$

A gyakorlat számára legfontosabbak az E, V és az M pontok, ill. az itt jelentkező szilárdsági jellemzők nagysága, mivel méretezésnél a szerkesztő ezekre az adatokra támaszkodik.

A C pontban kialakult feszültségnek a gyakorlat számára nincs semmi jelentősége.

A V pontig a kialakult feszültség nagysága reálisnak számít, mert a próbatetest keresztmetszete még lényegesen nem csökkent. Az ezután megjelenő nagymérvű nyúlás a keresztmetszet rovására történik, amely a szakadásig fokozatosan csökken. Ezért a szilárdsági mutatók tényleges értéke nagyobb a számítottnál, mivel a képletekben a keresztmetszet kiinduló nagysága szerepel.

A vizsgálat során kapott eredményekből az anyag maradó alakváltozó képességének két jellemző értéke számítható ki: a fajlagos nyúlás - ϵ és a fajlagos keresztmetszetszökkenés vagy kontrakció - Z .

A fajlagos nyúlás alatt az l_0 mérőhossz Δl összmegnyúlásának a hosszegységre eső részét értjük:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

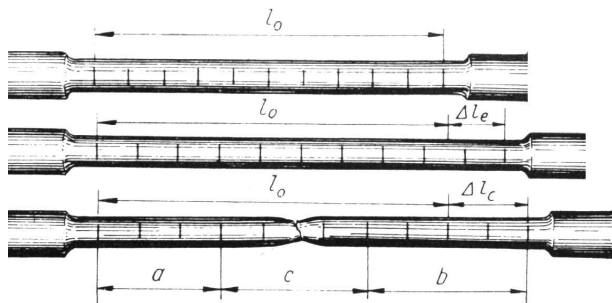
A gyakorlatban a fajlagos nyúlást százalékban szokás megadni:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} 100 \% = 100\epsilon.$$

Ha a vizsgálat folyamán figyelemmel kísérik a próbatestet, az M pont elérése után már szabad szem

¹⁾ Ebben az esetben a határ kifejezés nemcsak a pontra, mint egy szakasz végpontjára, hanem a pontban kialakult feszültségre, mint szilárdsági jellemzőre is vonatkozik.

mel is érzékelhető a keresztmetszet kontrakciója. Ezt érzékelteti a 2.04. ábra, amely a V, M és C pontokban mutatja be a próbatestet.

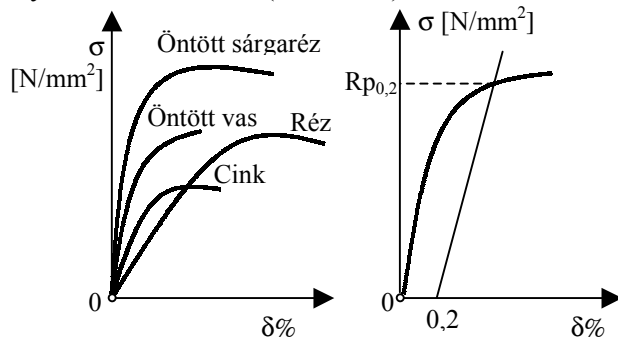


2.04. ábra. A próbatestet kinézése a V, M és K pontokban

A terhelés F_v -ről F_m -re való növekedése alatt a próbatestet osztásközei egyenletesen nyúlnak. Utána a húzóerő csökkenni kezd, míg egy részén a nyúlás rohamosan növekszik. Ezen a részen jelentkezik a keresztmetszetszökkenés, amely a szakadásig tart.

A 2.02. ábrán bemutatott diagram a lágy acélokra jellemző. Ezen jól elkülönül a felső és az alsó folyáshatár.

Azonban nem minden fémnek ilyen (vagy hasonló) a szakítódigramja. Ridegebb anyagoknál, mint pl. az öntöttvasnál, öntött sárgaréznel, réznel, cinknél nagyobb C-tartalmú ötvözött vagy ötvözetlen, valamint nemesített acéloknál a rugalmas alakváltozásból a maradóba való átmenet folyamatos, így a két folyáshatár elmosódik (2.05. ábra).



2.05. ábra. Rideg anyagok

2.06. ábra. A 0,2-es határ meghatározása

Ezeknél az anyagoknál a folyáshatárt helyettesíti az ún. konvencionális folyáshatár: $R_{p0,2}$. Ez az a feszültség, amely a próbatestet $\delta = 0,2\%$ -os maradó nyúlását okozó terhelésnél keletkezik:

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0} \text{ N/mm}^2.$$

A konvencionási folyáshatár egyik meghatározási módja, hogy a feszültségdiagramon az abszcissza 0,2 %-os maradó megnyúlást jelző pontjából, a dia-

gram kezdeti egyenes szakaszával párhuzamosan egy egyenest húznak, amely a diagram vonalán ki-metszi az $R_{p0,2}$ értéknek megfelelő pontot.

A szakítószilárdság meghatározásánál megállapítható az is, hogy rugalmas alakváltozás alatt a fajlagos alakváltozás arányos a feszültséggel (ez Hooke törvénye):

$$\sigma = E\varepsilon.$$

Az E arányossági tényezőt rugalmassági modulusnak (vagy rugalmassági tényezőnek) nevezik. Dimenziója megegyezik a σ -éval, mivel az ε dimenzió nélküli viszonyszám.

A szakítóvizsgálattal kapott diagram csak a V , ill. a $0,2\%$ -os pontig reális. Utána megkezdődik a keresztmetszet csökkenése. Emiatt a feszültség valódi értéke nagyobb a diagramról leolvashatóénál, de a gyakorlat számára ennek nincs különösebb jelentősége, mert ez a gépalkatrészeknek csak nagyobb biztonságot szavatol.

Gépalkatrészek méretezésénél az alapelv az, hogy az üzemkötbeni terhelés hatására egyetlen alkatrész sem szenvedhet maradó alakváltozást (nyugvó – sztatikus igénybevétel esetén), ill. fáradásos törést (ismétlődő – dinamikus igénybevétel esetén).

Az alkatrészben jelentkező legnagyobb igénybevétel nem lehet nagyobb a megengedett igénybevételnél, ami egy kiválasztott szilárdági értéktől és a biztonsági tényezőtől függ:

$$\text{megengedett feszültség} = \frac{\text{szilárdság (határfeszültség)}}{\text{biztonsági tényező}},$$

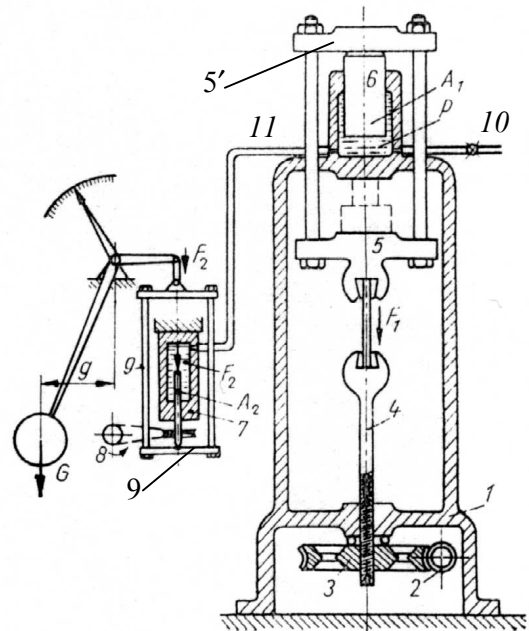
$$\text{vagyis: } \sigma_{\text{meg}} = \frac{R}{S}.$$

Nyugvó terhelésnél a folyáshatár (R_v), esetleg a szakítószilárdság (R_m) jelenti a határfeszültséget, míg dinamikus terhelésnél a megfelelő dinamikus szilárdság. A biztonsági tényező nagysága igen sok tényezőtől függ, ezért széles határok között mozog.

A szakítóvizsgálat elvégzéséhez megfelelő berendezés szükséges. Általában az egyetemes anyagvizsgálógépet használják, melynek vázlatos képét a 2.07. ábra mutatja be.

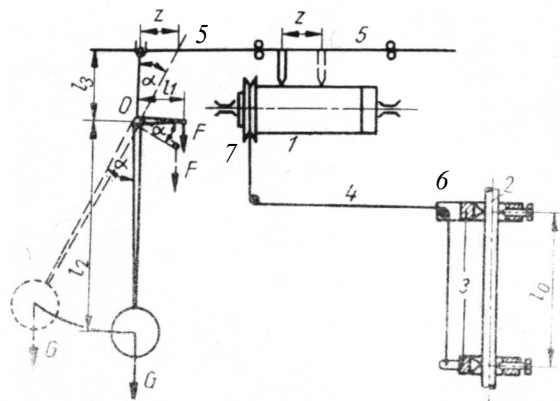
A gép 1 állványának alsó részében helyezkedik el a 4 alsó befogófej mozgatására szolgáló 2 csiga és 3 csigakerék, melynek agyrésze csavaranyaként tengelyirányban mozgatja a 4 befogófej rúdját. Erre a mozgásra a próbatest befogásakor és húzásakor van szükség. A húzószervezet 5 alsó gerendája két rúddal mereven csatlakozik az 5' felső gerendához ezen keresztül a 6 munkadugattyúhoz. Húzásakor a

lefelé mozgó alsó befogófej az A_1 keresztmetszetű munkadugattyú révén $F_1 = pA_1$ húzóerővel terheli a próbatestet. A munkahengerhez a 10 nyomóvezetékkel átellenes oldalon csatlakozik a 11 mérővezeték, mely a p nyomású olajat a 7 mérőhengerbe juttatja s az abban mozgó A_2 keresztmetszetű bűvárdugattyún az F_1 erőt $F_2 = pA_2$ -re redukálja, mivel az A_2 sokkal kisebb az A_1 -nél (a p olajnyomás állandó értékű). A kis átmérőjű bűvárdugattyút a mérési pontosság fokozására állandó forgómozgásban tartja a 8 zsinórtárcsás hajtás. Az F_2 erőt a 9 keret-szerkezet viszi át egy háromkarú emelő egyik karjára. Az emelő leghosszabb karján elhelyezett G súly nyomatéka egyensúlyt tart az F_2 erő nyomatékával. A harmadik kar közvetlenül az F_1 húzóerő nagyságát mutatja egy skálán. E karral mozgatható a diagramfelvevő-készülék irónja.



2.07. ábra. Egyetemes anyagvizsgáló gép

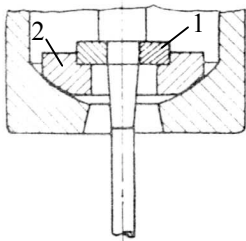
A diagramfelvevő-készülék működési elvét a 2.08. ábra érzékelteti.



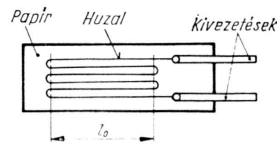
2.08. ábra. Szakítódigram felvevőkészülék

A diagrampapír az l dob palástjára van felerősítve. A dobot a 2 próbatest l_0 jeltávolságában felerősített 3 gyűrűk eltávolodása forgatja el a 4 zsinór közvetítésével, amelyet a 7 zsinórtárcsára csévélnék. A zsinór a felső gyűrű 6 zsinórtárcsáján átvetve az alsó gyűrűhöz van erősítve. A megnyúlás tehát az l dob kerülete irányában rajzolódik a diagramra. A megnyúlás léptékének változtathatósága a 7 tárcsa lépcsős kialakításával érhető el. Az erőt a dob alkotója irányában vezetett 5 léce erősített irón mozgása viszi át a diagrampapírra. Az 5 léce csuklós kullisszával kapcsolódik az erőmérő inga l_3 karjához, melynek kilengése arányos az F erő nagyságával, a l_3 kar kilengésével pedig megegyezik az irónnak a dob alkotója irányában való elmozdulása.

A szakítógép fontos tartozékai a próbatest befogói. Hengeresfejű próbatest befogására szolgáló berendezést mutat be a 2.09. ábra. A próbatest megfogása kétrészes gyűrűvel (1) történik, amely egy gömbös felületű tárcsára (2) támaszkodik. Ez a szerkezeti megoldás biztosítja a próbatest központos befogását, melyre azért van szükség, hogy a szakítás során a húzóerőhöz ne társuljanak járulékos hajlítóerők, mert ezek megghamisíthatnák az eredményt.



2.09. ábra. Hengeresfejű próbatest befogása



2.10. ábra. Mérőbéllyeg

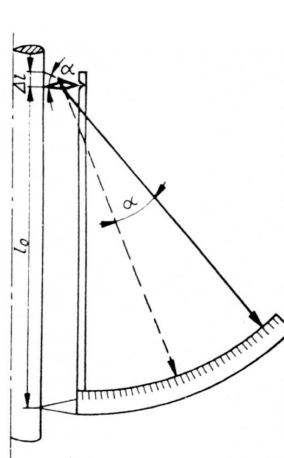
A konvencionális folyáshatár – $R_{p0,2}$ meghatározásához nyúlásmérőt használnak, amelyet a vizsgálat előtt a próbatestre erősítenek.

A legkorszerűbb nyúlásmérés elektromos úton történik mérőbéllyeggel (2.10. ábra), amelyet a próbatestre ragasztanak, így az a próbatesttel együtt nyúlik meg. A huzal megnyúlásával megváltozik annak az elektromos ellenállása is. Ezt lemérik és a kapott értékből a megnyúlás nagyságát kiszámítják.

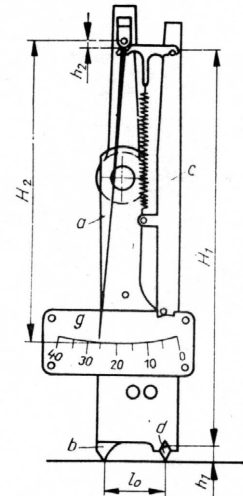
A Kennedy-féle nyúlásmérőt a 2.11. ábra szemlélteti. Ez a készülék két, élben végződő prizmán keresztül érintkezik a próbatesttel, melyek egymás közötti távolsága megegyezik az l_0 mérőhosszal. Amikor ez a hossz Δl -el megváltozik, a felső prizma éle is Δl -el elmozdul, amit a ráerősített mutató az ívben elhelyezett skálán 25-szörös nagyítással jelez ki.

Kisebb jeltávolságok (5...20 mm) esetében használják a tenzométert, melynek a nagyítása 1200 : 1. Egyik kivitelének vázlatos rajzát a 2.12. ábra mu-

tatja be. Az l_0 jeltávolság változásakor a H_1 hosszú c kar az élettől h_1 távolságban levő tengelye körül elfordul és elforgatja a h_2 karon a H_2 hosszú mutatót, amely a skálán kijelzi a Δl hosszváltozást.



2.11. ábra. Kennedy-féle nyúlásmérő



2.12. ábra. Tenzométer

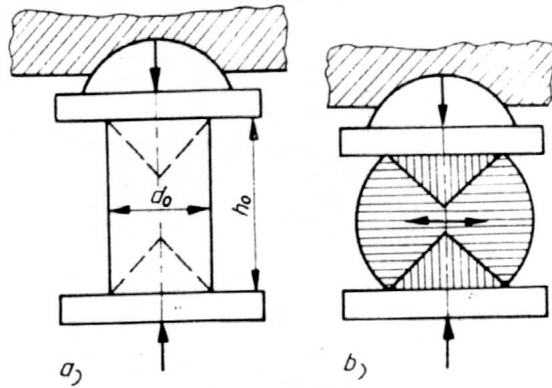
2.01.02. Nyomóvizsgálat

A nyomóvizsgálatot főleg a rideg anyagok, pl. öntöttvas és különböző építőanyagok stb. vizsgálatára alkalmazzák, mert ezeknél a nyomószilárdság mindig megállapítható. Képlékeny anyagoknál nyomással nem lehet törést elérni, ezért ezeknél a nyomószilárdság meghatározása nem lehetséges.

A nyomóvizsgálathoz henger vagy négyzetes hasáb alakú próbatestet alkalmaznak. A próbatest magassága (h_0) a nyomás alatti alakváltozástól függ és általában $0,5d_0 < h_0 < 2d_0$ határok között mozog, de nem lépheti át az alap átmérőjének, ill. oldalhosszána a háromszorosát, mert ellenkező esetben megnövekszik a kihajlás veszélye.

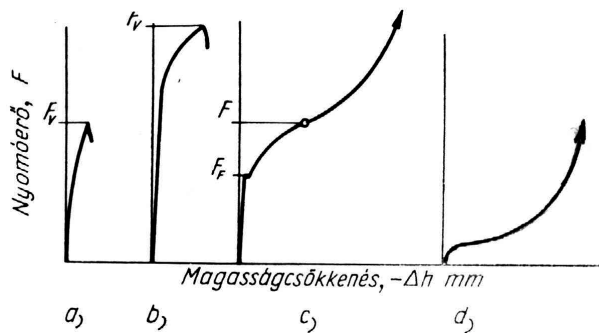
A próbatestnek a nyomólapokkal érintkező felületei a közöttük kialakuló súrlódási ellenállás miatt nem tudnak elmozdulni, így ezeken a felületeken ún. nyomókúpok alakulnak ki, amelyek az alakváltozásban nem vesznek részt, hanem mint két kúpos szerszám a próbatestbe hatolva azt palástirányban tágitani igyekeznek (2.13. ábra).

A nyomóvizsgálatot különlegesen kialakított sajtókon vagy az egytetemes anyagvizsgálógépen (2.07. ábra) végzik az 5. alsó gerenda felett, a szaggatott vonallal feltüntetett helyen. A nyomólapok közül legalább az egyiket gömbös alátámasztással készítik (2.13. ábra), hogy a vizsgálat alatt a próbatest koncentrikusan állhasson be. Az érintkező felületeket finomra kell lemunkálni, hogy ne akadályozhassák a próbatest alakváltozását.



2.13. ábra. Szívós (a) és képlékeny (b) anyag nyomóvizsgálat alatti alakváltozása

Különböző anyagok *nyomóerő-rövidülés* diagramját a 2.14. ábra szemlélteti.



2.14. ábra. Öntöttvas (a), szívós acél (b), lágycél (c) és ólom (d) nyomódiagramja

Az öntöttvasnak, mint rideg anyagnak, nincs vagy alig van maradó megrövidülése. A diagramjából meghatározható anyagjellemzők:

- a rugalmassági határ: $\sigma_{0,02} = F_{0,02}/S_0 \text{ N/mm}^2$,
- a nyomószilárdság: $R_{ny} = F_{max}/S_0 \text{ N/mm}^2$.

Mivel a deformáció nagyon kicsi, nem 0,2 %-os, hanem 0,02 %-os alakváltozást mérnek.

A nyomószilárdság csak akkor állapítható meg, ha a próbatétel a vizsgálatkor eltörött.

Szívós anyagok diagramja hasonló a rideg anyagokéhoz, csak általában nagyobb terhelést bírnak el és nagyobb az alakváltozásuk. Az itt meghatározható anyagjellemzők:

- a rugalmassági határ: $\sigma_{0,02} = F_{0,02}/S_0 \text{ N/mm}^2$,
- a folyáshatár: $\sigma_v = F_v/S_0 \text{ N/mm}^2$,
- a nyomószilárdság: $R_{ny} = F_{max}/S_0 \text{ N/mm}^2$.

A rugalmassági határ és a folyáshatár számításához szükséges terhelést kis mérőhosszúságú nyúlásmérővel mért alakváltozásból határozzák meg.

Szívós anyagoknál meghatározható a *fajlagos magasságcsökkenés* vagy a *fajlagos összenyomódás* is:

$$\epsilon_{ny} = -\frac{\Delta h}{h_0}, \text{ ill. } \delta_{ny} = -\frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100\%.$$

ahol: $\Delta h = h_0 - h_1$, h_0 a próbatétel eredeti, h_1 pedig az összenyomódás utáni magassága.

A fajlagos összenyomódást a fajlagos nyúlástól való megkülönböztetés végett negatív előjellel szokás megadni.

A *keresztmetszet* viszonylagos *növekedése* vagy *duzzadása*:

$$\Psi_{ny} = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \cdot 100\%.$$

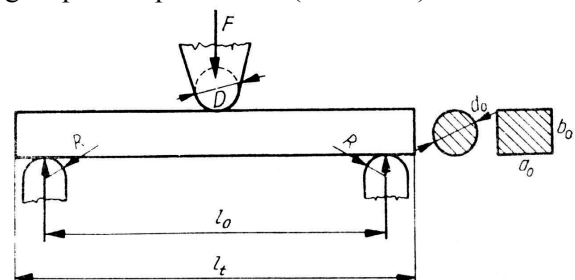
S_1 a próbatétel legnagyobb keresztmetszete a vizsgálat után, míg S_0 az eredeti keresztmetszet.

Lágy, de egyben szívós anyagok nyomódiagramja (2.14c ábra) inflexiós pontot mutat, ahol felülről nézve konvexből konkáv alakba megy át. Az ezutáni alakváltozás közben a nyomóerő hirtelen annyira megnövekszik, hogy eléri a vizsgálógép terhelésének határát, anélkül, hogy a próbatétel törést szenvedne. Így a nyomószilárdság itt nem határozható meg, csak a rugalmassági és a folyáshatár, ill. az inflexiós pontnak megfelelő feszültség.

Lágy (képlékeny) anyagoknál a nyomóvizsgálatnál a 2.14d ábrának megfelelő diagram alakul ki, melynek az első része nagyon alacsony, így rövidülést nem lehet mérni, ezért még a rugalmassági és a folyáshatár sem állapítható meg. Az ilyen anyagok nyomással nem törhetőek el.

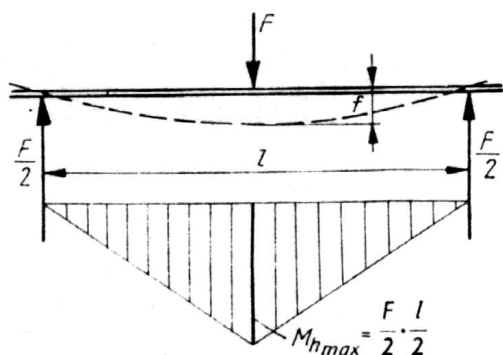
2.01.03. Hajlítóvizsgálat

A hajlítóvizsgálatot is az egytetemes anyagvizsgálógépen szokás végezni úgy, hogy a gép nyomóvizsgálathoz használt részébe szerelik a hajlításra szolgáló berendezést. Ez a berendezés két, egymástól l_0 távolságra levő, R sugárral lekerekített támaszból és D átmérőre lekerekített nyomótüskéből áll. A támaszok és a tüske közé helyezik a kör vagy téglalap alakú próbatételt (2.15. ábra).



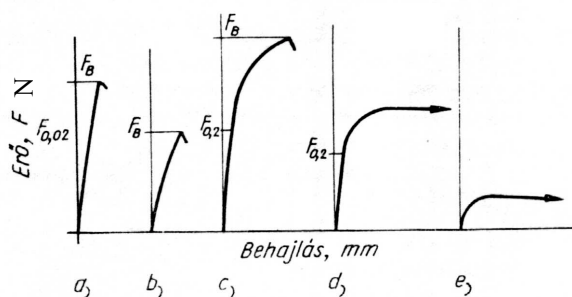
2.15. ábra. A próbatétel terhelése hajlítóvizsgálatnál

A vizsgálatnál kapott diagram a hajlításnál jelentkező erőt ábrázolja az f behajlás függvényében. A behajlást a támaszok között középen, az erő síkjában mérik (2.16. ábra).



2.16. ábra. A hajlítónyomaték értelmezése

Hajlítással csak rideg, esetleg szívós anyagok törhetők el. Képlékeny, ill. képlékeny-szívós anyagok gyakran összehajlíthatók 180° -ra is törés nélkül. Néhány anyag hajlítóvizsgálattal kapott erő-behajlás diagramját a 2.17. ábra szemlélteti.



2.17. ábra. Néhány anyag hajlítódiagramja
a - edzett acél, b - öntöttvas, c - nemesített acél,
d - lágycél, e - ólom

Hajlítószilárdságot csak rideg anyagnál lehet meghatározni. Szívós anyagoknál leginkább rugalmassági, ill. folyáshatárt lehet kapni. Képlékeny anyagoknál jószerevel semmi mutatót nem lehet meghatározni, ezért ezeknél az anyagoknál nincs értelme az ilyen vizsgálatnak.

A vizsgálat folyamán a hajlítóanyag hatására a próbatest hajlítói igénybevételnek van kitéve. A támaszban uralkodó $F/2$ reakcióerő hatására, amelynek karja $l_0/2$, a legnagyobb M_{hmax} hajlítóanyag hatására az erő síkjában jelentkezik. A törés mindig itt következik be, ezért ezt a keresztmetszetet veszélyes keresztmetszetnek nevezik. A hajlítószilárdságot úgy számítják ki, hogy a hajlítóanyag legnagyobb értékét elosztják a W keresztmetszeti tényezővel:

$$R_h = \frac{M_{hmax}}{W} = \frac{F \cdot l_0}{4W} \quad \text{N/mm}^2.$$

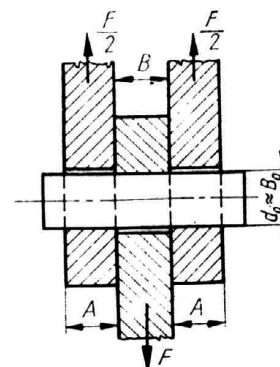
Szívós anyagoknál a rugalmassági, ill. a folyáshatárt állapítják meg, amelyhez szükség van az $F_{0,2}$, ill. az $F_{0,02}$ erőre és a húzott szál megnyúlására. Ennek a megállapítása finom nyúlásmérővel történik a maximális nyomaték helyén. Ti. hajlításakor a domború oldal húzó, míg a homorú oldal nyomó igénybevételnek van kitéve. Emellett mérni kell a próbatest behajlását is, ami a gép egyik lapjának a másikkal viszonyított elmozdulásával egyenlő.

A hajlítóvizsgálatot elsősorban a szürke öntöttvasnál a szakítóvizsgálat helyett használják. Előnye, hogy a próbatest behajlása lényegesen nagyobb, mint a szakításnál mérhető nyúlás. A próbatest mérőhossza $l_0=600$ mm, a teljes hossz $l_t = 650$ mm, átmérője $d_0 = 30$ mm.

2.01.04. Nyíróvizsgálat

A nyíróvizsgálattal az anyag nyírószilárdságát – $R_{nyí}$ határozzák meg, amely csúsztatófeszültség ($\tau_{nyí}$) alakjában jelentkezik.

A nyíróvizsgálatot hengeres próbatesten kettős nyírással végzik, amikor a próbatest elnyírása egyidejűleg két keresztmetszetben történik, amint azt a 2.18. ábra szemlélteti.



2.18. ábra. Kettős nyírással végzett vizsgálat

A nyírószerszám két átfúrt pofából és a közöttük elmozdítható csúszónyelvből áll. A próbatest H8/e9 illesztéssel csatlakozik a furatokhoz. Mivel az $F_{nyí}$ nyíróerő mért nagyságára hatással van a nyírópofák és a nyelv mérete, a szerszám alkatrészei közötti hézag és a nyírás sebessége, ezért ezeket az adatokat szabvány írja elő.

A nyírószilárdság nagyságát a nyíróerő és az össznyírt felület hányadosa adja meg:

$$R_{nyí} = \frac{F_{nyí}}{A_{nyí}} = \frac{F_{nyí}}{2A_0} \quad \text{N/mm}^2,$$

$$\text{ahol: } A_0 = \frac{d_0^2 \pi}{4} \quad \text{mm}^2,$$

d_0 - a próbatest átmérője mm-ben.

A gyakorlatban a nyírószilárdág nagyságának ismeretére nyírásnak kitett alkatrészek (pl. szegecsek, csapok, illesztőszegek, egyes hegesztési varratok stb) méretezésénél van szükség.

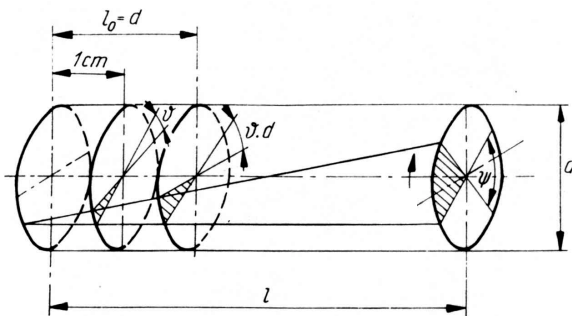
A nyírószilárdág ismeretének hiányában egyes esetekben felhasználható a nyíró- és a szakítószilárdág nagysága közötti összefüggés:

- acélokra: $R_m/R_{nyí} = 0,75 \dots 0,80$,
- szürkeöntvényre: $R_m/R_{nyí} = 1,0 \dots 1,1$,
- alumíniumra: $R_m/R_{nyí} = 0,60 \dots 0,70$.

Kemény anyagoknál ilyen összefüggés nem állapítható meg.

2.01.05. Csavaróvizsgálat

A csavaróvizsgálatnál a próbatest egyik végét me-reven befogják, a másik végét pedig a próbatest tengelyére merőleges síkban ható csavarónyomatékkal terhelik. A terhelés következtében a próbatest alkotói csavarvonalba mennek át és az egymástól l távolságban levő keresztmetszetei egymáshoz képest ψ szöggel elfordulnak (2.19. ábra).



2.19. ábra. Hengeres próbatest rugalmas alakváltozása csavarásnál

Általában hengeres próbatestet használnak, átmérője tetszőleges (rendszerint $d_0 = 10$ mm), hossza $l_0 = 20d_0$ vagy $l_0 = 100d_0$. A kapott diagram nagyon hasonlít a szakítószilárdság diagramjához. A vizsgálat folyamán mérik a csavarónyomatékot (T) és a teljes elcsavarodást, amelyből kiszámítható a fajlagos elcsavarodás. A csavarónyomatékot erőpárral hozzák létre, melynek a nagysága:

$$T = Fk \quad \text{Nmm.}$$

k – az erőpár karja mm-ben.

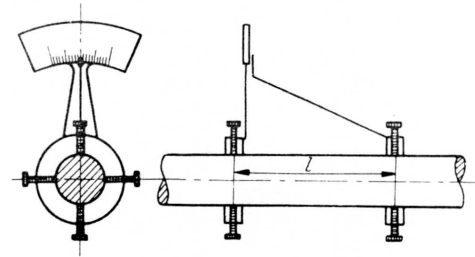
A fajlagos elcsavarodást (radiánban) az össz elcsavarodás és a próbatest hosszának a hányadosa adja:

$$\vartheta = \frac{\Psi}{l_0} \quad \text{rad.}$$

A fajlagos elcsavarodás szögfokban:

$$\Psi^\circ = \vartheta \frac{360^\circ}{2\pi}.$$

Nagyobb elcsavarodásokat a 2.20. ábrán látható készülékkel szokás mérni, amelynek skálája a jeltáv egyik végére, mutatója pedig a jeltáv másik végére van erősítve.



2.20. ábra. Elcsavarodást mérő készülék

A csavarószilárdság (R_{cs}) a törést kiváltó csavarónyomatékból számítható, elosztva azt a poláris keresztmetszeti tényezővel (W_0).

$$R_{cs} = \frac{T}{W_0} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad \text{N/mm}^2.$$

Körkeresztmetszetre a poláris keresztmetszeti tényező:

$$W_0 = \frac{\pi d^3}{16} \quad \text{mm}^3.$$

A csavarószilárdság, ill. csavaró folyáshatár nagyságára a csavarásnak kitett alkatrészek (közlötengelyek, torziós rugók stb.) méretezésénél van szükség. Ha ezek az adatok ismeretlenek, akkor a szakítószilárdságnál kapott megfelelő értékek felével lehet számolni.

2.01.06. Keménységmérés

A keménység egy test felületének tőle keményebb test benyomódásával szemben kifejtett ellenállása, amely nagy mértékben összefüggésben áll az anyag rugalmas és maradó alakváltozásával. A keménységvizsgálatnak a műszaki gyakorlatban két rendszere alakult ki. Az egyik a sztatikus, ún. szűrőkeménység, míg a másik a dinamikus vagy rugalmas ütőkeménység vizsgálata. Egyik keménységmérés sem ad abszolút, csak összehasonlító értéket. Az összehasonlítás csak akkor lehetséges, ha a mérést egyforma berendezéssel ugyanolyan módon végezték el.

A sztatikus vagy szűrőkeménységmérésnek három módja ismert:

1. Brinell szerinti keménységmérés,
2. Vickers szerinti keménységmérés és
3. Rockwell szerinti keménységmérés.

A dinamikus vagy rugalmas ütőkeménységmérésnek szintén három változata van:

1. Poldi-féle keménységmérés,
2. Sore-féle keménységmérés és
3. Duroszkóppal való keménységmérés.

2.01.06.01. Keménységmérés Brinell szerint

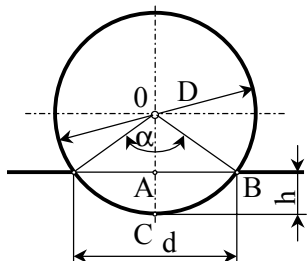
A Brinell-keménység méréséhez használt szűrőszerszám D átmérőjű edzett acél- vagy keményfém golyó, amelyet F erővel nyomnak a vizsgálandó tárgy felületére és mérik a maradó lenyomat d átmérőjét. A Brinell-keménység számszerű értékét (HB) úgy kapják meg, hogy az F erő nagyságát (kN-ban) elosztják a tárgy felületére benyomódott gömbsüveg mm^2 -ben kifejezett A felületével:

$$HB = \frac{F}{A} \quad (\text{kN/mm}^2).$$

Ahol: $A = D\pi h$ mm^2 -ben, h a lenyomat mélysége.

Ha szükség van a golyó anyagának a feltüntetésére, akkor a Brinell-keménység jele: acélnál - HBS, keményfémnél (W-karbid) – HBW.

A Brinell-lenymat méretviszonyait a 2.21. ábra szemlélteti.



2.21. ábra. A Brinell-lenymat méretviszonyai

$$h = OC - OA,$$

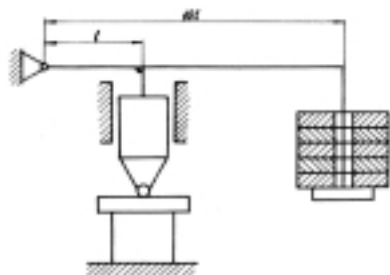
$$OC = \frac{D}{2}, \quad (OA)^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2.$$

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

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

$$HB = \frac{2F}{D\pi\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \quad \text{kN/mm}^2.$$

A Brinell-készülék elvi felépítését a 2.22. ábra mutatja be.



2.22. ábra. A Brinell-készülék sematikus rajza

A golyón ható nyomóerő és az ezt létrehozó súlyerő karjainak aránya 1:10, ami azt jelenti, hogy a nyomóerő 10-szer nagyobb az őt létrehozó tömeg súlyerejétől. A vizsgált tárgy felületét jól meg kell tisztítani, majd felhelyezni a készülék asztalára úgy, hogy az szilárdan felfeküdjék. Ezután működésbe kell hozni a nyomóerőt, annak nagyságát fokozatosan növelve (15 mp-en át) a meghatározott értékig és azt működtetni meghatározott ideig.

A Brinell-keménység számértéke a mérés körülményeitől függ. Hatással van rá a golyó átmérője és annak a vizsgált darab vastagságához való viszonya, a golyó benyomódásának mérve, vagyis a d , h és α nagysága, a nyomóerő nagysága és hatásának ideje.

Ezért a Brinell-keménység számszerű értéke mellett meg kell adni a golyó átmérőjét, a nyomóerőt és hatásának idejét. Ha pl. 200 HB keménységű az anyag, amelyet $D = 10$ mm átmérőjű golyóval és $F = 3000$ kN nyomóerővel határoztak meg, amely 30 mp-ig hatott a golyóra, akkor a jelölés:

$$200 \text{ HB}_{10/3000/30}.$$

A régebben elfogadott nyomóerő nagysága 3000 kp volt és az így kapott számszerű értékeket meghagyták a kN-nál is, mivel az eltérés kisebb, mint 2%, ami a gyakorlatban még megengedett.

Általásosan elfogadott szabály az acélok keménységének meghatározásánál, hogy a mérést az előbbi példában felsorolt mérési jellemzőkkel kell végezni és ekkor azokat nem kell feltüntetni, csak a HB számszerű értékét (pl. 200 HB). Ha viszont bármelyik paraméter megváltozik, akkor mind a hármat fel kell tüntetni a már leírt módon.

A 10 mm-es golyóátmérő mellett, a szabvány kisebb átmérőket is előlátott. Annak érdekében, hogy a mérési feltételek kiegyenlítődjenek és hogy a kapott eredmények összehasonlíthatók legyenek, a nyomóerő és a golyóátmérő közötti összefüggés:

$$F = K \cdot D^2.$$

A K szorzótényező értéke is szabványos és az anyagfajtától függ.

A Brinell-féle keménységmérés feltételeit a 2.01. táblázat tartalmazza.

Annak érdekében, hogy a kapott eredmény hiteles legyen, be kell tartani bizonyos feltételeket:

- acélgolyóval 400 HB-ig, keményfémgolyóval 650 HB-ig szabad mérni,
- csak simafelületű, homogén anyagból készült tárgyak mérhetők,

- a vizsgált tárgy vastagsága legalább 10h, vagy 2D legyen,
- a lenyomat középpontja a tárgy szélétől 4D-től ne legyen kisebb,
- a szomszédos lenyomatok középpontja közötti távolság ne legyen kisebb 3D-nél.

2.01. táblázat. A Brinell-keménységmérés feltételei

$\delta^1)$ mm	D mm	Nyomóerő – F kN-ban			
		30D ²	10D ²	5D ²	2,5D ²
>6	10	3000	1000	500	200
>3...6	5	750	250	125	50
3	2,5	187,5	62,5	31,25	12,5
<3 ²⁾	1	30	10	5	2
Anyagfajták szerinti alkalmazás	Acélok, öntöttvas kemény bronz	Al- és Cu- ötvözetek	Cu-, Al-, Zn- ötvözetek	Al, Pb, Sn és féhérfém	
HB		140-450	45-315	23-158	12-78

¹⁾ A vizsgált anyag vastagsága,
²⁾ Csak felületi vizsgálathoz.

Az anyagok Brinell-keménysége és a szakítószilárdság között meghatározott összefüggés áll fenn. A 2.02. táblázatban található *k* szorzótényező és a HB - keménység szorzata adja a szakítószilárdság közelítő értékét, amelyet „Brinell-szilárdságnak” neveznek.

2.02. táblázat. A *k* szorzótényező az R_m számításához

Anyag	k	Anyag	k
Szénacél	0,36	AlCuMg ötvözet	0,35
Cr-Ni acél	0,34	AlMg ötvözet	0,44
Bronz, hid. munkálva	0,40	Mg ötvözet	0,43
Bronz - izzítva	0,55	MgAl ötvözet	0,40
Bronz - öntött	0,23	Al ötvény	0,26
Bronz - hengerelt	0,22	Zn fröccsöntve	0,42

Szürke öntvénynél: R_m ≈ (HB^{10/3000/10} - 40)/6.

A Brinell-nyomatom átmérőjének a mérése erre a célra szolgáló kézi mikroszkóppal 0,01 mm-es pontossággal történik. A két, egymásra merőleges átmérő átlaga a mérvadó, amelyhez a megfelelő HB értéket táblázatból szokás kikeresni.

A Brinell-keménységmérés hátránya, hogy a kapott eredmény függ a golyó átmérője és a nyomóerő nagyságától és így nem eléggé jól összehasonlítható értékeket ad. Ezenkívül nagyobb keménység mérése a golyó torzulása miatt nem alkalmas.

2.01.06.02. Keménységmérés Vickers szerint

A Vickers-keménységmérés kiküszöböli a Brinell-féle módszer hátrányait:

- szűrőszerszáma gyémántból készül, így a legkeményebb anyagok mérésére is alkalmas,

- a szerszám és a nyomóerő olyan kicsi, hogy a legérzékenyebb anyagot is vizsgálhatjuk, így a késztermékek károsodás nélkül vizsgálhatók,
- nem töri át a felületi kérget, így vékony nitrált vagy cementált felületek keménységének a mérésére is alkalmas,
- a lenyomat nagysága arányos az erővel, így a terhelés nagysága nem befolyásolja az eredményt.

A terhelés nagysága általában 100 és 300 N között mozog és az e határok között különböző terheléssel mért HV Vickers-keménységek egymás között jól összehasonlíthatók. A terhelés ~15 mp-ig hat, amely idő alatt a nyomóerő fokozatosan növekszik, amíg el nem éri a maximális értékét.

A Vickers-módszer szűrőszerszáma 136°-os csúszögű négyzet alapú gyémántgúla, amelyet *F* nyomóerővel a mérendő tárgy felületébe nyomnak. A kapott közel négyzetes lenyomat két átlóját mérik meg és azok átlagával (*d*) számítják ki a lenyomat felületét. A lenyomat geometriáját a 2.23. ábra értékelteti.

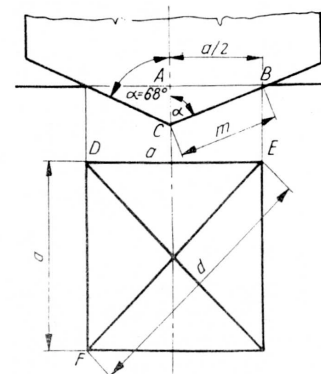
A Vickers-keménységet hasonlóan a Brinell-keménységhez, az *F* nyomóerő és a lenyomat *A* felületének a hányadosa adja:

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{1,854F}{d^2} \quad \text{N/mm}^2$$

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

$$A = \frac{d^2}{1,854}, \quad \text{mivel az ABC háromszögből:}$$

$$\sin \alpha = \frac{a}{2m}, \quad \text{ill.} \quad m = \frac{a}{2 \sin 68^\circ}.$$



2.23. ábra. A Vickers-keménység lenyomata

A gyakorlatban a Vickers-keménységet nem számolják, hanem a lement *d* értékhez tartozó HV értéket táblázatból keresik ki.

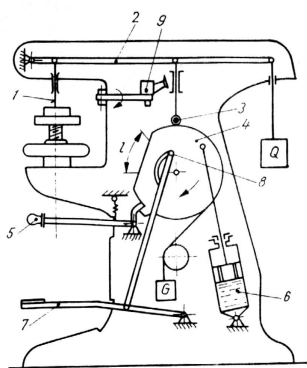
A Vickers-keménység értékének megadásánál a HV jel után fel kell tüntetni a nyomóerő N-ban mért nagyságát is, pl. HV 100, ill. HV 300. E szokásos két érték mellett, szükség esetén a következő nyomóerő-nagyságok közül választható a legmegfelelőbb: 10; 50; 200; 500; 800 és 1200 N.

Régebbi táblázatokban a HV értékek a kp-ban mért nyomóerőből adódnak, ezért ezeket 10-zel kell szorozni, ill. az erőt kN-nak kell tekinteni.

A szabályos mérés feltételei a következők:

- a szúrószerszámnak sérülésmentesnek kell lennie,
- a mért tárgy vastagsága nem lehet kisebb 2d-nél,
- forgástestek esetében a görbületi sugár nem lehet 5 mm-nél kisebb,
- a lenyomat közepe és a tárgy széle, vagy két szomszédos lenyomat közepe közötti távolság 3 mm-nél nem lehet kisebb.

A Vickers-keménységmérő gép (2.24. ábra) a terhelés fokozatos növekedését, annak időtartamát és fokozatos megszüntetését önműködően végzi. A mérés kezdetén a mérendő tárgyat a gép asztalára helyezik és érintkezésbe hozzák az 1 szúrószerszámmal. Ezután az 5 kar lenyomásával kireteszelik a 4 alakos tárcsát, mely a zsinórral ráfüggesztett G tömeg hatására a nyíl irányában elfordul és a kerületébe bemunkált 1 pálya mentén legördülő 3 görgős támasz a 2 kétkarú emelő lesüllyedését váltja ki, és ezzel a szúrószerszámnak a Q súlyerő hatására kialakuló nyomóerővel való terhelését lehetővé teszi. A 4 tárcsa forgását a 6 hidraulikus hengerben mozgó dugattyú fékezi. A 4 tárcsa köríves kivágása forgás közben a 7 pedál vonórúdja végén helyben maradó 8 görgős csap mellett úgy fordul el, hogy a görgős csap a kivágás alsó részével kerül érintkezésbe. Újabb mérés előtt a 7 pedálra lépve a 4 tárcsát visszaforgatják és így a gépet ismét működőképes helyzetbe hozzák. A lenyomat átlóit a lenyomat fölé hajtható 9 mérőmikroszkóppal 0,01 mm-es pontossággal mérik le.



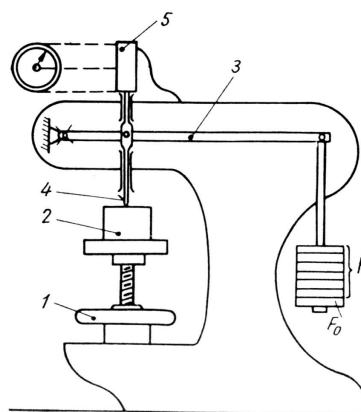
2.24. ábra. A Vickers keménységmérőgép vázlatja

2.01.06.03. Keménységmérés Rockwell szerint

A Vickers-keménységmérésnek sok előnye mellett egy hátránya az, hogy nem eléggé gyors a gyártási sorozatba iktatott tömeges mérésre. Erre a célra dolgozták ki a Rockwell-keménységmérést. E módszernek a szúrószerszáma 120°-os csúcshögre köszörült gyémántkúp, vagy 1,59 mm-s (1/16") átmérőjű edzett acélgolyó. A többi keménységméréssel ellentétben, itt nem a lenyomat felületét kell meghatározni a keménység kiszámításához, hanem a szúrószerszámnak a tárgy felületébe való behatolási mélységét, és az ennek megfelelő keménység szám-szerű értéke egy mérőórán közvetlenül leolvasható.

A szúrószerszám alakjától függően kétféle Rockwell-keménységszámot használnak, melyek jele: HRC (kúp alakú szúrószerszám használatánál) és HRB (golyó alakú szúrószerszám esetén).

A Rockwell-keménységmérőgép vázlatos rajzát a 2.25. ábra mutatja be. Ez egy asztali berendezés, amelynél az 1 kézikerékkel függőleges irányban beállítható asztalkára helyezik a 2 vizsgálandó tárgyat. Erre támaszkodik a 3 emelő rövidebb karjára csuklósan felerősített 4 szúrószerszám. A hosszabb kar végére akasztott rúdra helyezik egymás után az F_0 előterhelést, majd az F_1 főterhelést és az utóbbi eltávolítása után az 5 mérőórán, melynek tapintója a szúrószerszám toldatára támaszkodik, leolvassák a főterhelés okozta maradó benyomódás mértékét.



2.25. ábra. A Rockwell-keménységmérő vázlatja

A mérés három szakaszban történik:

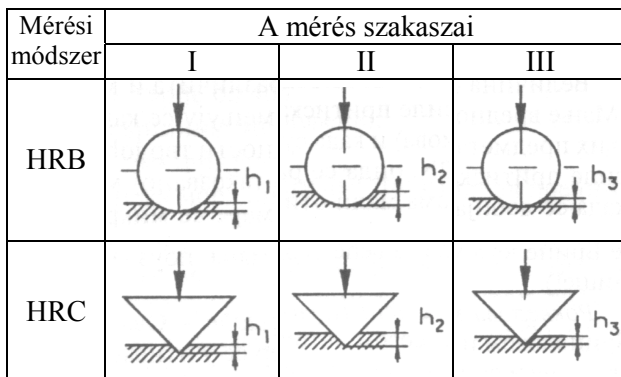
I.szakasz: A vizsgált tárgy felületére felfekvő szúrószerszámnak először F_0 előterhelést adnak, melynek hatására az h_1 mélyen hatol a tárgy felületébe. Ezt nem mérik, mert csak a felületi hibáknak a mérésre gyakorolt hatását hívatott kiküszöbölni. Amikor a szerszám megállapodott, a mérőórát lenullázzák.

II.szakasz: Ekkor következik az F_1 főterhelés, mire a szerszám h_2 mélyséig hatol a tárgyba és a mérőóra mutatója ennek megfelelően kileng.

III.szakasz: Amikor a mutató megáll, a főterhelést megszüntetik, így a szerszám a rugalmas benyomódás mértékével megemelkedik és az óra mutatója ennek arányában visszafordul. Ekkor olvassák le a mérőórán a maradó benyomódás nagyságát (h_3).

A Rockwell-keménység egység 0,002 mm benyomódásnak felel meg, amelyet levonnak egy meghatározott K állandóból, hogy a keményebb anyagokra nagyobb értékek adódjanak, mivel ezeknél a benyomódás kisebb.

A mérés három szakaszát a 2.26. ábra szemlélteti.



2.26. ábra. Rockwell-keménység mérés szakaszai

A mérés jellemzői:

Mérési mód:	Előterhelés:	Főterhelés:	K állandó:
HRC:	$F_0 = 100 \text{ N}$	$F_1 = 1400 \text{ N}$	100
HRB:	$F_0 = 100 \text{ N}$	$F_1 = 900 \text{ N}$	130

Ezek szerint a Rockwell - keménység:

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h_3(\text{mm})}{0,002},$$

$$\text{HRB} = 130 - \frac{h_3(\text{mm})}{0,002}.$$

A mérőóra számlapját Rockwell-keménység egységekre hitelesítik.

A Rockwell – C módszert kemény anyagoknál (edzett acélok), míg a B módszert lágyabbaknál alkalmazzák.

A mérés alapfeltételei:

- a vizsgálandó tárgy jól legyen rögzítve,
- a tárgy felülete sima legyen,
- görbült felületek sugara nem lehet kisebb 5 mm-nél,
- a mért tárgy vastagsága nem lehet kisebb $10h_3$ -nál,
- a szomszédos lenyomatok egymás közötti távolsága nem lehet kisebb 3 mm-nél.

2.01.06.04. Keménység mérés Poldi-kalapáccsal

Ez a módszer lényegében összehasonlító Brinell-keménység mérés, amely 400 HB-nél kisebb keménységű anyagok helyszíni keménység mérésére szolgál. A Poldi-féle szerkezet szűrőszerszáma (3) $D = 10 \text{ mm}$ -es átmérőjű edzett acélgolyó, amelyet a mérendő tárgy (1) felületére helyeznek, felette pedig ismert keménységű összehasonlító próbapálcát (2) kap helyet. Ezt a pálcát az ütőtüske (4) közvetítésével rugó (5) szorítja a golyóhoz. Méréskor az ütőtüske fejére mért kalapácsütés lenyomatot hoz létre úgy a vizsgált anyag, mint a próbapálcát felületén is. A tuskére mért ütés nagyságát úgy kell megválasztani, hogy a lenyomatok átmérője 2...4 mm között legyen, de az ütés energiáját nem kell ismerni, mert a két anyag keménysége fordított arányban áll a lenyomatok felületével. A lenyomatok átmérőjét a Brinell-módszernél használatos mikroszkóppal mérik le két egymásra merőleges irányban és az átlagot veszik alapul. Ha a vizsgált anyag jellemzőit „a” index, az ismert keménységű próbapálcáját pedig „p” index jelöli, akkor a számítás menete:

$$d_a = \frac{d'_a + d''_a}{2} \quad \text{és} \quad d_p = \frac{d'_p + d''_p}{2},$$

A lenyomatátmérők segítségével számíthatók az anyagok keménysége.

$$H_a = \frac{2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d_a^2})} \quad \text{és}$$

$$H_p = \frac{2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d_p^2})}.$$

Az első egyenletet el kell osztani a másodikkal, így a vizsgált tárgy keménysége:

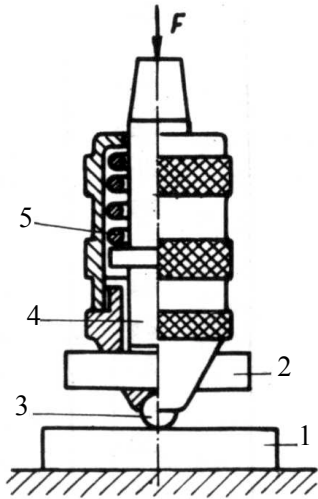
$$H_a = H_p \frac{D - \sqrt{D^2 - d_p^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_a^2}} \quad \text{kN/mm}^2.$$

Mivel a lenyomat felülete arányos az átmérője négyzetével, a keresett keménység a következő egyenlet segítségével is számítható:

$$H_a = H_p \frac{d_p^2}{d_a^2} \quad \text{N/mm}^2.$$

A Poldi-kalapáccsal kapott eredmények bizonyos mértékben eltérnek a Brinell-módszettel kapott eredményektől, ez azonban nem csökkenti a Poldi-eljárás gyakorlati felhasználhatóságát.

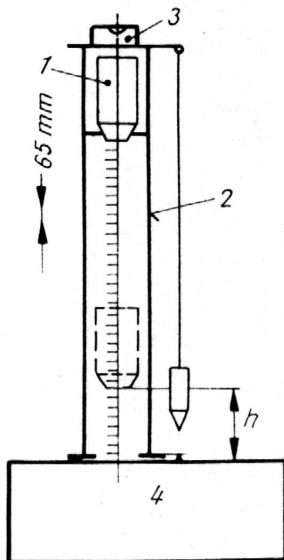
A Poldi-kalapácsot a 2.27. ábra mutatja be.



2.27. ábra. Poldi-kalapács

2.01.06.05. Shore-féle keménységmérés

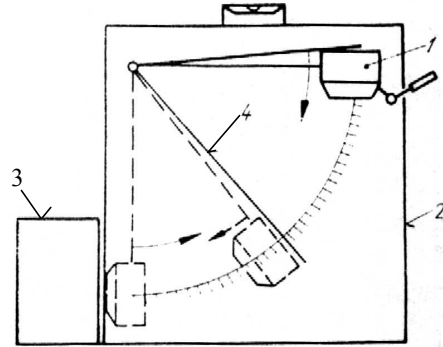
Ennél a módszernél a keménységet *szkleroszkóppal* (2.28. ábra) határozzák meg, a mérőszám pedig a vizsgálandó tárgy felületére egy bizonyos magasságból leejtett edzett acél- vagy gyémántvéggel ellátott acélhenger (1) rugalmas visszapattanásának magassága. Az acélhenger tömege 1/12 uncia (2,3625 g), átmérője 1/4" (6,37 mm), hossza 3/4" (19,1 mm). Ez a henger egy skálával ellátott üvegcsőben (2) mozog. A skála osztásnagysága 1,65 mm. A műszer felfelé fordításakor az acélhenger a cső felső végében reteszeli. Vizsgálatkor a műszert a tetejére szerelt libella (3) és a függőön segítségével pontosan függőleges helyzetbe állítják a mérendő tárgy (4) síklapjára, majd az acélhengert kireteszelik. A felületre eső súly visszapattanásának magasságát (h) leolvassák, ez adja meg a Shore-keménységi számot.



2.28. ábra. A szkleroszkóp vázlatos rajza

2.01.06.06. Duroszkópos keménységmérés

A szkleroszkóppal azonos elven működik a duroszkóp vagy durométer is (2.29. ábra), melynél egy kis acélkalapács (1) ingaként van felfüggesztve egy dobozban. A doboz oldallapjának alján levő nyíláshoz támasztják a vizsgálandó tárgyat. Vizsgálatnál a felső vízszintes helyzetéből kireteszelt kalapács a tárgy (3) függőleges oldallapjáról visszapattanva magával viszi és a visszapattanás helyén hagyja a mutatót (4), amely a skálán kijelzi a mért értéket.



2.29. ábra. Durométer

1–mérőkalapács, 2–doboz, 3–tárgy, 4–mutató

A két utóbbi eljárásnál kapott eredmény nemcsak a vizsgált tárgy keménységétől, hanem a műszer beállításától, valamint a tárgy tömegétől is nagyban függ, így a mérés eléggé pontatlan. Ezért legfontosabb felhasználási területük az edzett felületek sorozatos ellenőrzése, nem a keménység értékének megállapításával, hanem csak tájékoztató jellegű méréssel, hogy minden darab közel azonos keménységű-e.

A különböző módszerekkel kapott keménységi értékek összehasonlítása, valamint a megfelelő szakítószilárdság nagysága a 2.03. táblázatban található. Ez a táblázat a prof. Zoran Savić által szerkesztett Gépészeti kézikönyv (Inženjersko mašinski priručnik) 1. kötetéből lett átvéve.

A táblázat fejlécében található jelölések jelentése:

R_m – szakítószilárdság,

HV – Vickers-féle keménység, $F = 98\text{N}$ nyomóerővel kapott értékek,

HS – Shore-féle keménység,

HB – Brinell-féle keménység,

HRB – Rockwell-féle keménység, B-módszer,

HRC – Rockwell-féle keménység, C-módszer.

2.03. táblázat. Keménység-összehasonlító táblázat					
R _m N/mm ²	HV	HS	HB	HRB	HRC
200	63	-	60		
210	65	-	62		
220	69	-	66		
225	70	-	67		
230	72	-	68		
240	75	-	71		
250	79	-	75		
255	80	-	76		
260	82	-	78		
270	85	-	81	41	
280	88	-	84	45	
285	90	-	86	48	
290	91	-	87	49	
300	94	-	89	51	
305	95	-	90	52	
310	97	-	92	54	
320	100	12,7	95	56	
330	103	-	98	58	
335	105	13,4	100	59	
340	107	-	102	60	
350	110	14,1	105	62	
360	113	-	107	63,5	
370	115	15,0	109	64,5	
380	119	-	113	66	
385	120	15,8	114	67	
390	122	-	116	67,5	
400	125	16,7	119	69	
410	128	-	122	70	
415	130	17,5	124	71	
420	132	-	125	72	
430	135	18,3	128	73	
440	138	-	131	74	
450	140	19,1	133	75	
460	143	-	136	76,5	
465	145	19,9	138	77	
470	147	-	140	77,5	
480	150	20,7	143	78,5	
490	153	-	145	79,5	
495	155	21,5	147	80	
500	157	-	149	81	
510	160	22,3	152	81,5	
520	163	-	155	82,5	
530	165	23,1	157	83	
540	168	-	160	84,5	
545	170	23,8	162	85	
550	172	-	163	85,5	
560	175	24,7	166	86	
570	178	-	169	86,5	
575	180	25,5	171	87	
580	181	-	172		
590	184	-	175	88	
595	185	26,3	176		
600	187	-	178	89	
610	190	27,1	181	89,5	
640	200	28,5	190	91,5	
650	203	-	193	92	
660	205	29,5	195	92,5	
670	208	-	198	93	
675	210	30,2	199	93,5	
680	212	31,0	201		
690	215	31,2	204	94	
700	219	-	208		
705	220	31,8	209	95	
710	222	32,0	211	95,5	
720	225	32,5	214	96	
730	228	-	216		

2.03. táblázat (folytatás). Keménység-összehasonlító táblázat					
R _m N/mm ²	HV	HS	HB	HRB	HRC
740	230	33,3	219	96,5	
750	233	-	221	97	
755	235	34,1	223		
760	237	-	225	97,5	
770	240	34,8	228	98	
780	243	-	231		21
785	245	35,5	233		
790	247	-	235	99	
800	250	36,3	238	99,5	22
810	253	-	240		
820	255	37,0	242		23
830	258	-	245		
835	260	37,8	247		24
840	262	-	249		
850	265	38,5	252		
860	268	-	255		25
865	270	39,2	257		
870	272	-	258		26
880	275	40,0	261		
890	278	-	264		
900	280	40,7	266		27
910	283	-	269		
915	285	41,4	271		
920	287	-	273		28
930	290	42,1	276		
940	293	-	278		29
950	295	42,8	280		
960	299	-	284		
965	300	43,5	285		
970	302	-	287		30
980	305	44,2	290		
990	308	-	293		
995	310	44,8	295		31
1000	311	-	296		
1010	314	45,5	299		
1020	317	-	301		32
1030	320	46,2	304		
1040	323	-	307		
1050	327	46,9	311		33
1060	330	47,5	314		
1070	333	-	316		
1080	336	48,2	319		34
1090	339	-	322		
1095	340	48,8	323		
1100	342	-	325		
1110	345	49,5	328		35
1120	349	-	332		
1125	350	50,1	333		
1130	352	-	334		
1140	355	50,7	337		36
1150	358	-	340		
1155	360	51,4	342		
1160	361	-	343		
1170	364	52,0	346		37
1180	367	-	349		
1190	370	52,6	352		
1200	373	-	354		38
1210	376	53,2	357		
1220	380	53,8	361		
1230	382	-	363		39
1240	385	54,4	366		
1250	388	-	369		
1255	390	55,0	371		
1260	392	-	372		40
1270	394	55,5	374		
1280	397	-	377		

2.03. táblázat (folytatás). Keménység-összehasonlító táblázat					
R_m N/mm²	HV	HS	HB	HRB	HRC
1290	400	56,2	380		
1300	403	-	383		41
1310	407	56,9	387		
1320	410	57,4	390		
1330	413	-	393		42
1340	417	57,8	396		
1350	420	58,5	399		
1360	423	-	402		43
1370	426	59,1	405		
1380	429	-	408		
1385	430	59,6	409		
1390	431	-	410		
1400	434	60,2	413		44
1410	437	-	415		
1420	440	60,7	418		
1430	443	-	421		
1440	446	61,2	424		45
1450	449	-	427		
1455	450	61,7	428		
1460	452	-	429		
1470	455	62,3	432		
1480	458	-	435		46
1485	460	62,8	437		
1490	461	-	438		
1500	464	63,4	441		
1510	467	-	444		
1520	470	63,9	447		
1530	473	-	449		47
1540	476	64,4	452		
1550	479	-	455		
1555	480	64,9	(456)		
1560	481	-	(457)		
1570	484	-	(460)		48
1580	486	65,4	(462)		
1590	489	-	(465)		
1595	490	65,9	(466)		
1600	491	-	(467)		
1610	494	66,4	(470)		
1620	497	-	(472)		49
1630	500	66,9	(475)		
1640	503	-	(478)		
1650	506	-	(481)		
1660	509	-	(483)		
1665	510	67,8	(485)		
1670	511	-	(486)		
1680	514	-	(488)		50
1690	517	-	(491)		
1700	520	68,8	(494)		
1710	522	-	(496)		
1720	525	-	(499)		
1730	527	-	(501)		51
1740	530	69,7	(504)		
1750	533	-	(506)		
1760	536	-	(509)		
1770	539	-	(512)		
1775	540	70,6	(513)		
1780	541	-	(514)		

2.03. táblázat (folytatás). Keménység-összehasonlító táblázat					
R_m N/mm²	HV	HS	HB	HRB	HRC
1790	544	-	(517)		52
1800	547	-	(520)		
1810	550	71,5	(523)		
1820	553	-	(525)		
1830	556	-	(528)		
1840	559	-	(531)		
1845	560	72,4	(532)		53
1850	561	-	(533)		
1860	564	-	(536)		
1870	567	-	(539)		
1880	570	73,3	(542)		
1890	572	-	(543)		
1900	575	-	(546)		
1910	578	-	(549)		54
1920	580	74,1	(551)		
1930	583	-	(554)		
1940	586	-	(557)		
1950	589	-	(560)		
1955	590	75,0	(561)		
1960	591	-	(562)		
1970	594	-	(564)		
1980	596	-	(567)		55
1990	599	-	(569)		
1995	600	75,8	(570)		
2000	602	-	(572)		
2010	605	-	(575)		
2020	607	-	(577)		
2030	610	76,6	(580)		
2040	613	-	(582)		
2050	615	-	(584)		56
2060	618	-	(587)		
2070	620	77,4	(589)		
2080	623	-	(592)		
2090	626	-	(595)		
2100	629	-	(598)		
2105	630	78,2	(599)		
2110	631	-	(600)		
2120	634	-	(602)		
2130	636	-	(604)		
2140	639	-	(607)		57
2145	640	78,9	(608)		
2150	641	-	(609)		
2160	644	-	(612)		
2170	647	-	(615)		
2180	650	79,5	(618)		
2190	653	-	(620)		
2200	655	-	(622)		58
	675	-			59
	698	83,2			60
	720	-			61
	745	86,1			62
	773	-			63
	800	89,5			64
	829	91,7			65
	864	92,8			66
	900	94,7			67
	940	96,6			68

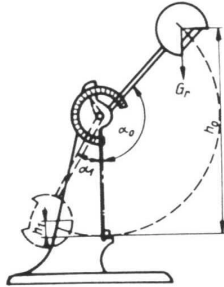
2.01.07. Bemetszett próbatest ütővizsgálata

Ez a vizsgálat a szerkezeti anyagok szívósságának a leggyakrabban alkalmazott meghatározási módszere. A vizsgálat lényege, hogy egy ingás ütőmű segítségével egyetlen ütéssel eltörnek egy hasáb alakú bemetszett próbatestet.

A szabványosított próbatest hossza 55 mm, keresztmetszete 10x10 mm. A bemetszést a próbatest közepén készítik el, 2; 3 vagy 5 mm mélyen, melynek a szélessége 2 mm és lekerekítési sugara 1 mm.

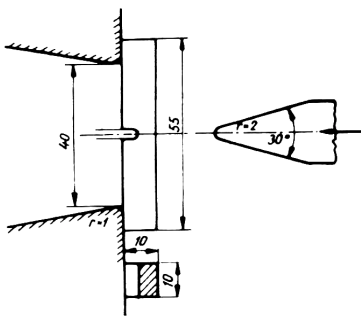
A vizsgálatához ingás ütőművet, ún. Charpy-féle ingát használnak, amelyet 100; 150; 300 és 750 Nm maximális törési munka kifejtésére alkalmas nagyságokban gyártanak.

Az ütőmű vázlatos rajzát a 2.30. ábra szemlélteti.



2.30. ábra. Az ütőmű vázlatos rajza

Leggyakrabban a 300 Nm energiájú (G_{h_0}), 5-7 m/s sebességű ütőműveket használják. A próbatestet az ütőmű támasztó bakjára úgy helyezik fel, hogy a bemetszés középvonala az ütés síkjába essék, de az ütés a próbatestet a bemetszéssel ellentétes oldalán érje. A próbatest felhelyezését a 2.31. ábra mutatja be.



2.31. ábra. A próbatest felhelyezése

Az ingát $\alpha_0 = 160^\circ$ -os szöggel kilengetik és h_0 magasságban rögzítik. Ebben a helyzetben az inga G_{h_0} potenciális energiával rendelkezik. Ha az ingát kioldják, az az útjába eső próbatestet eltöri, amire energiájának egy részét elhasználja, míg a megmaradó rész az ingát tovább lendíti a másik oldalra h_1 magasságra, ahol az inga potenciális energiája G_{h_1} . A próbatest eltörésére felhasznált ütőmunka a két potenciális energia különbsége.

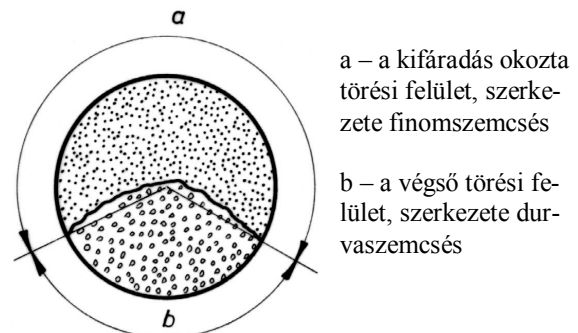
$$A = E_0 - E_1 = G_{h_0} - G_{h_1} = G(h_0 - h_1) \text{ Nm.}$$

Az inga szárához egy mutató van erősítve. Ez a mutató mozgása közben maga előtt tol egy szabad mutatót, amely az inga h_1 magasságának megfelelő helyzetben áll meg és az alatta levő skálán közvetlenül kijelzi az elhasznált ütőmunka nagyságát.

Az ütésre fordított munkát közvetlenül – ütőmunkaként (dimenziója Nm), vagy az eltört keresztmetszetre vonatkoztatva - fajlagos ütőmunkaként (dimenziója Nm/cm^2), adják meg, melyek fizikai tartalma lényegében nem tér el egymástól. Egymáshoz való viszonyuk azonos próbatestek esetén állandó. Az ütőmunka és a fajlagos ütőmunka nagyságát nagyban befolyásolja a bemetszés. Ezért az ütőmunka mellett meg kell adni a próbatest típusát is.

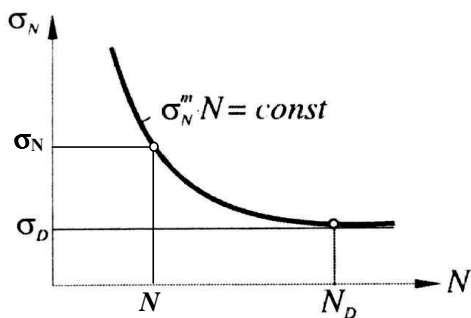
2.01.08. Fárasztóvizsgálat

Ismétlődő igénybevétel esetén, ha az ismétlődések száma elég nagy, a szerkezeti alkatrészek a folyáshatárnál sokkal kisebb értékű csúcsheszültség esetén is tönkremennek. Ezt a jelenséget kifáradásnak, a törést pedig fáradttörésnek nevezik. Ezen a törési felületen két jól megkülönböztethető zóna található. Az egyik aprószemcsés, majdnem sima, kagylós jellegű, ahol a szétválás lassan, fokozatosan jött létre. A töret ezen része külső vagy belső apró repedésekből indul, amelyek az igénybevétel alatt fokozatosan terjednek, összeérnek, így a hasznos keresztmetszet folyamatosan csökken. Ebből kifolyólag a névleges feszültség állandóan növekszik és amikor meghaladja az anyag határfeszültségét bekövetkezik a végso törés. Ez a törési felület durvaszemcsés, kristályos, hasonló a rideg anyagoknál a nyugvóigénybevétel hatására létrejövő töréshez. A két törési zóna nagysága és egymáshoz való viszonya igen sok tényezőtől függ, mint pl. a terhelés nagyságától és módjától, az anyag homogenitásától, a feszültséggyűjtő-hatásoktól stb. Egy példát a 2.32. ábra mutat be.



2.32. ábra. Fáradttörés egy lehetséges alakja

Ismétlődő igénybevételnél a fáradttörést kiváltó feszültség nagysága és az ismétlődések száma között szoros összefüggés áll fenn, amelyet az ún. Wöhler-görbével (2.33. ábra) szokás ábrázolni



2.33. ábra. Wöhler-görbe

Ha csökken az F_{max} és vele együtt a σ_{max} , a törés mind később következik be. Azt a legnagyobb feszültséget, amely végtelen számú ismétlődés esetén sem okoz törést, kifáradási határfeszültségnek vagy dinamikus szilárdságnak nevezik. A jele σ_D és az ennek megfelelő legkisebb ismétlődési szám az ismétlődési határszám – N_D . Véges, azaz korlátozott ismétlődési számnál, amely $N < N_D$, a törés a határfeszültségnél nagyobb $\sigma_N > \sigma_D$ értéknél következik be, amelyet véges vagy korlátozott határfeszültségnek vagy korlátozott dinamikus szilárdságnak neveznek, melynek nagysága a következő összefüggésből számítható:

$$\sigma_D^m N_D = \sigma_N^m N = \text{const.}$$

Az m kitevő értéke az anyagtól függ, acéloknál $m = 6$.

A Wöhler-görbe megrajzolásához szükséges jellemzők ún. fárasztógépek alkalmazásával kaphatók, amelyekkel meghatározott ismétlődő igénybevételnek teszik ki a próbatesteket, amíg a fáradttörés be nem következik. Általában 10 próbatestet vizsgálnak fokozatosan csökkentett maximális terheléssel, amíg a dinamikus szilárdságig el nem érnek.

2.02. HIBAKERESŐ VIZSGÁLATOK

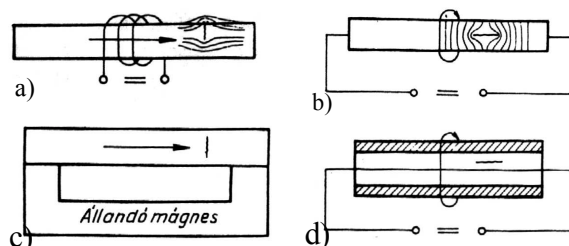
Ezek nem roncsoló vizsgálatok, ezért kész vagy félkész árúk hibáit, folytonossági hiányait, szemmel nem észlelhető mikrorepedéseit hívatottak felderíteni. A vizsgálatok megkezdése előtt az ellenőr mindig szemrevételezi a darabot, mert gyakorlott szakember apró utaló jelekből már következtet a meglevő hibákra. A nem roncsoló, hibakereső vizsgálatok két csoportba sorolhatók:

1. felületi repedések kimutatására szolgálókra és
2. belső folytonossági hibák felderítésére szolgálókra.

2.02.01. Mágneses repedésvizsgálat

Ferromágneses anyagok felületi repedéseinek felderítésére ez a leggyakrabban használt módszer. Kimutatja a tárgy felületéről kiinduló vagy annak közelébe hatoló, szabad szemmel nem látható repedéseket. Az eljárás lényege az, hogy a vizsgálandó tárgyat felmágnesezik és a mágneses erővonalakkal átjárt felületre kolloidális finomságú ferromágneses anyagot szórnak. A mágneses erővonalak a fémbe nagyjából párhuzamosan haladnak, de a repedés diamágneses jellege miatt annak határán kilépnek a levegőbe és ott szórt mezőt képeznek, melynek erővonalai mintegy áthidalják a repedést és magukhoz vonzzák a ferromágneses porszemcséket, így azok a repedés felett összesűrűsödve jelzik a repedést. Ez a jelenség csak akkor mutatkozik, ha a repedés merőleges az erővonalakra. Ebből következik, hogy a vizsgálandó tárgyat legalább két, egymásra merőleges irányú mágneses mezővel kell gerjeszteni. A mágnesezés elvégezhető állandó mágnessel, egyenárammal vagy váltóárammal. A vizsgálat eredményének a helyes kiértékelése igen nagy gyakorlatot igényel, mert kisebb felületi hibák is okozhatnak torlódásokat, amelyeket tudni kell kiszűrni.

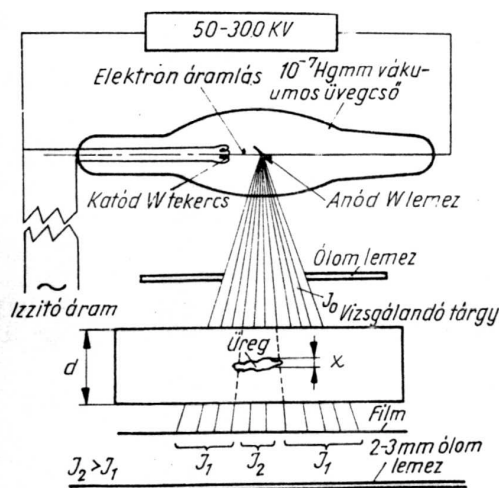
Néhány mágnesezési módot a 2.34. ábra érzékeltet.



2.34. ábra. Mágnesezési módok: külsőgerjesztés tekercsrel (a), rúdon közvetlenül (b), állandó mágnessel (c), csövön kábellel átvezetett egyenárammal (d)

2.02.02. Radiografiai vizsgálatok

Ezeket a hibakereső vizsgálatokat röntgensugarakkal végzik kész alkatrészek belső folytonossági hiányainak kimutatására. A vizsgálat alapja az, hogy az igen kis hullámhosszú röntgensugarak az anyagon áthaladva abban különböző mértékben nyelődnek el. Az így átvilágított tárgy hátlapjára helyezett érzékelő ernyőn vagy filmen a tárgy képe világosabb a nagyobb sugárerősség miatt, míg a folytonossági hibák helyén sötétebb foltok jelennek meg. A vizsgálat általános elrendezését a 2.35. ábra mutatja be.



2.35. ábra. A röntgensugaras-vizsgálat elrendezése

A röntgen sugárnyaláb útjába helyezett tárgy a sugarak egy részét elnyeli, egy másik részét szétszórja és csak a megmaradó rész távozik a tárgy hátlapján. Minél kisebb a sugarak hullámhossza, annál könnyebben hatolnak át a tárgyakon, viszont a nagyobb hullámhosszúak jobb kontrasztot adnak a filmen, tehát könnyebben értékelhetők. Ezért a vizsgálatnál a tárgy vastagsága alapján kell kiválasztani a sugarak hullámhosszát. Mivel a belső hiányosságok helyén való áthaladáskor a sugárgyengülés kisebb, ezért itt sötétebb foltok jelennek meg a filmen. A sugárkontraszt annál nagyobb, minél nagyobb a hiba sugárirányú mérete, így ez a vizsgálat csak a sugárzással közel párhuzamos repedéseket mutatja ki.

A röntgenvizsgálat hibakimutatása ritkábban fluoreszkáló ernyőn történik, főleg könnyűfémek vizsgálatánál.

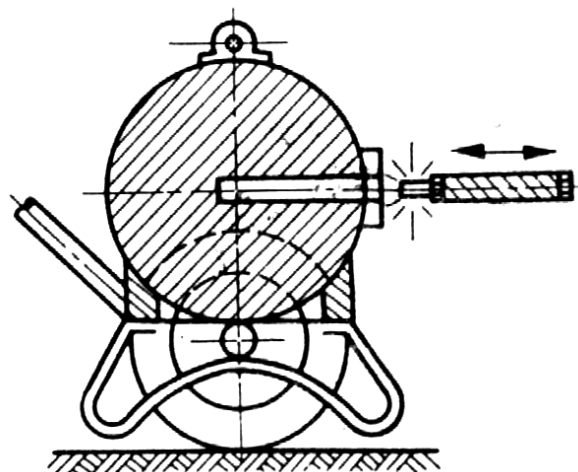
2.02.03. Izotópvizsgálat

Radiografiai vizsgálatokhoz röntgensugarakon kívül használnak még gammasugarakat is, amelyeket természetes és mesterséges radioaktív anyagok bocsátanak ki. A gammasugár vizsgálatokhoz mindig mesterséges radioaktív izotópokat használnak. Előnyük, hogy a szükséges nagyságú aktivitással állíthatók elő, és hogy viszonylag kis méretűek, így olyan szűk helyre is eljuttathatók, ahová röntgensóvel beférni nem lehet; továbbá, hogy nincsenek áramforráshoz kötve, ezért tetszőleges helyen is felhasználhatók átvilágításra. Az anyagvizsgálatnál leggyakrabban használt izotópok a Co-60 és az Ir-192. A radioaktív anyagokra jellemző az az idő, ami alatt az aktivitásuk a felére csökken. Ezt az időt nevezik felezési időnek. Az izotópok tehát használat nélkül a tárolás alatt is veszítenek energiájukból,

ezért bizonyos idő elteltével ki kell őket cserélni, függetlenül a használatuktól.

Az izotópos sugárvizsgálat elveiben azonos a röntgenvizsgálattal, vagyis a vizsgálandó tárgyat a sugarak útjába, a film elé kell helyezni. A kapott felvétel általában kontrasztszegényebb, mint a röntgenvizsgálatnál, ami előnyös nagy falvastagság-különbségek esetén. Izotópos vizsgálatnál ún. panoráma-elrendezésű felvételeket lehet egyetlen expozícióval készíteni. Ezeket úgy készítik, hogy egy középpont köré 1-2 m-es sugáron helyezik el a vizsgálandó öntvényeket a vizsgált hely hátlapjára felerősített filmekkel. A felvételnél az izotópot a tároló vagy munkatartályából manipulátorral kivéve a középpontba állítják az expozíciós ideig.

Állandó sugárzásuk miatt az izotópokat gondosan el kell zárni az ún. izotóptartókban (2.36. ábra).



2.36. ábra. Izotóptartó lehetséges megoldása

Ezek rendszerint ólomból készült gömb alakú tartályok, amelyeknek közepén helyezkedik el a sugárzó izotóp. Az izotópos vizsgálatoknál fokozott mértékben kell betartani a sugárvédelmi előírásokat.

2.02.04. Ultrahangvizsgálat

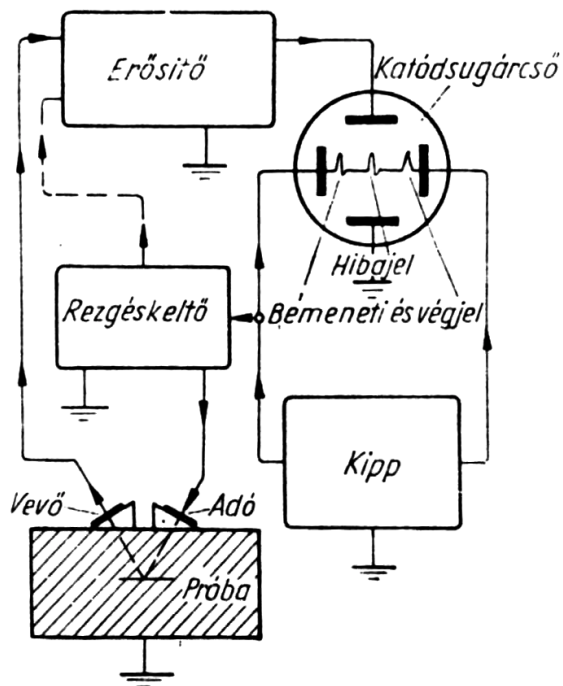
Az ultrahangvizsgálat nyomáshullámok terjedését és a közeg határfelületeiről való visszaverődését használja fel belső folytonossági hiányok, repedések, záródmányok felderítésére. Az ultrahang a hallásküszöbnél nagyobb frekvenciájú (0,25...20 MHz) hullámmozgást jelent. Az ultrahangrezgések acélban 5920 m/s sebességgel terjednek, így alkalmasak igen vastag fémtárgyak vizsgálatára is. Levegő vagy nemfémes záródmányok az ultrahanghullámok számára olyan nagy akadályt jelentenek, hogy azok felületéről teljes egészükben visszaverődnek.

Ebből kifolyólag a hullámokra merőlegesen elhelyezkedő 1 μm vastagságú repedés is kimutatható.

Az ultrahanghullámokat a piezo-elektromosság felhasználásával állítják elő. A piezo-elektromos kristályoknak az a tulajdonsága, hogy változó elektromos tér hatására térfogatukat változtatják, így az elektromos hullámokat mechanikai rezgésekké lehet átalakítani. Ez a hatás megfordítható, vagyis a mechanikus rezgésbe hozott kristály meghatározott frekvenciájú elektromos hullámokat kelt.

Ultrahangvizsgálatokra általában kvarckristályokat használnak. A megfelelően kimetszett kristálylapot az ultrahangvizsgálófejbe építik, ezt nagyfrekvenciájú árammal rezgésbe hozzák, melyet víz vagy olaj közvetítésével átadnak a vizsgálandó tárgynak, melyben a hosszirányú (longitudinális) ultrahanghullámok majdnem párhuzamos irányban terjednek. A tárgyon áthaladó hullámok vevőfejjel foghatók fel, amely megegyezik az adófejjel, csak a feladata fordított. A tárgytól átvett mechanikus rezgéseket elektromos rezgésekké alakítja, melyek egy erősítőn áthaladva katódcsőbe jutnak, amely lehetővé teszi a folytonossági hibák észlelését.

Az ultrahangvizsgáló-berendezés elrendezési elvét a 2.37. ábra szemlélteti.

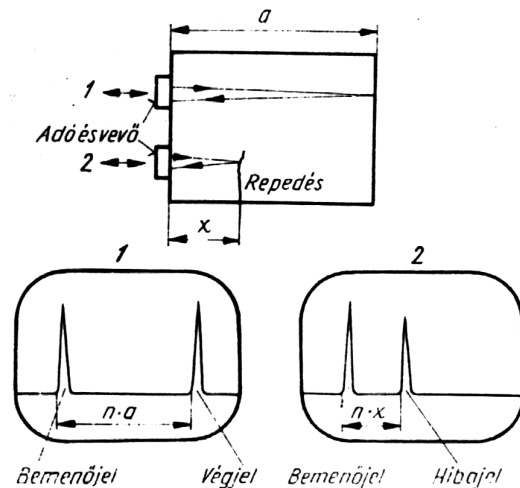


2.37. ábra. Ultrahang-vizsgáló berendezés elrendezése

Az ultrahangvizsgálatoknál két alapvető eljárás alakult ki:

- átsugárzásos eljárás és
- impulzus-visszhang eljárás.

Az elsőnél két azonos fejre, míg a másikon csak egyetlen fejre van szükség, ezért ez a módszer terjedt el. Vizsgálatnál a fej 4-5 hullámot bocsát ki, ezután pedig mint vevőfej dolgozik. Ez az eljárás tulajdonképpen az ultrahanghullámok megtett útját méri, ezért egyaránt megfelel a hiba helyének a meghatározására és bármilyen fémes test vastagságának a mérésére is. A 2.38. ábra egy folytonossági hiba impulzusvisszhang eljárással való meghatározását mutatja be.



2.38. ábra. Folytonossági hiba meghatározása

Az ultrahangvizsgálóknál alkalmazott frekvenciaszámot a vizsgált anyag minősége határozza meg.

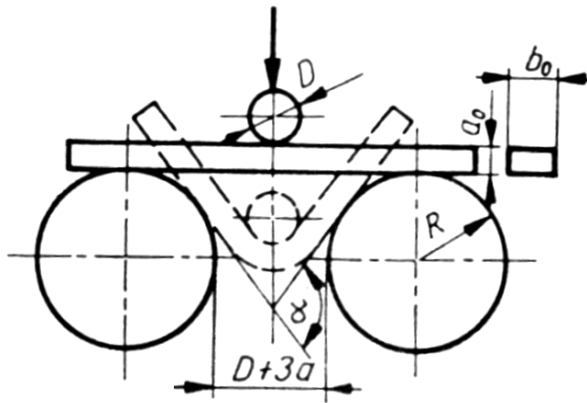
Ma már az ultrahangvizsgáló-berendezést számítógéppel kötik össze, így a vizsgálat eredménye katódcső helyett a monitor képernyőjén jelenik meg, ami megkönnyíti a kiértékelést, de a helyes kiértékelés még így is igen nagy gyakorlatot és szak tudást igényel.

2.03. TECHNOLÓGIAI PRÓBÁK

A technológiai próbák az anyagok megmunkálhatóságának ellenőrzésére szolgálnak oly módon, hogy az anyagban előidézik a megfelelő műveleti eljárás alatt jelentkező alakváltozásokat. A vizsgálat legtöbbször csak egy bizonyos mértékű alakváltozás repedésmentes kivitelezhetőségének ellenőrzéséből áll.

2.03.01. Hajlító- és hajtogatópróba

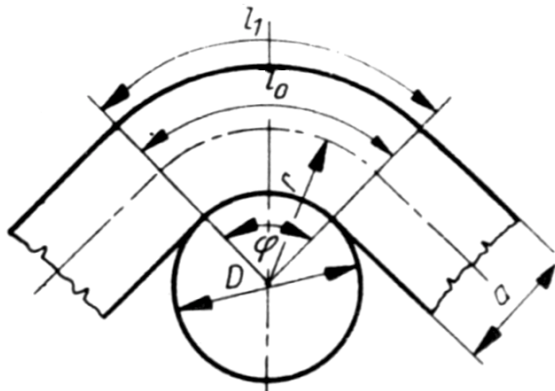
A *technológiai hajlítópróba* lemezek és azok hegesztett kötéseinek vizsgálatánál játszik jelentős szerepet. Lényege, hogy hengeres vagy hasáb alakú próbatestet hajlítóberendezésben a 2.39. ábra szerint úgy hajlítanak meg, hogy a száruk középvonala egy síkban maradjon.



2.39. ábra. Technológiai hajlítópróba

A repedés nélkül elérendő α - hajlásszög nagyságát szabvány írja elő. Az igénybevétel nagyságát a hajlítótüske D átmérőjének a lemez a vastagságához való viszonya szabja meg. A szabvány által meghatározott $D = na$ összefüggésben az $n = 0,5 \dots 3$ értékek között változhat.

A vizsgált anyag alakváltozó képességének a mérőszáma a Tetmayer-féle hajlítási szám, amelyet a hajlításban résztvevő szélső szál fajlagos nyúlása ad meg. A 2.40. ábra alapján:



2.40. ábra. A Tetmayer-féle szám meghatározása

A semleges szál hossza, amely a hajlítás alatt nem változik: $l_0 = r\varphi$.

A szélső szál hossza: $l_1 = \left(r + \frac{a}{2}\right)\varphi$.

A szélső szál fajlagos nyúlása: $\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\%$.

Behelyettesítve az l_0 és l_1 értékét az előbbi egyenletbe:

$$\delta = \frac{\left(r + \frac{a}{2}\right)\varphi - r\varphi}{r\varphi} 100 = \frac{r\varphi + \frac{a\varphi}{2} - r\varphi}{r\varphi} 100\%,$$

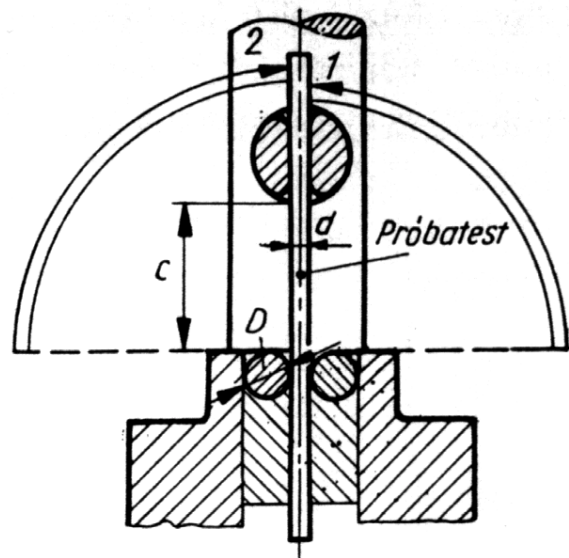
$$\delta = 50 \frac{a}{r} \%$$

ahol:

a – a próbatest vastagsága,

r – a semleges szál hajlítási sugara: $r = D + a/2$.

A hajtogató vizsgálatot úgy végzik, hogy a huzalt vagy a lemezcsíkot felváltva két irányba 90° -ra hajlítják és a törésig elviselt hajtogatásokat megszámlálják. Egy hajtogatásnak számít egy 90° -os le- és visszahajlítás. A 2.41. ábrán látható huzalhajtogató berendezés D és c mérete a huzal d átmérőjének (ill. a lemez vastagságának) nagyságától függ és a D általában $D = 4d \dots 6d$ határok között mozog. Sodronykötelek és $d \leq 3$ mm átmérőjű huzalok vizsgálatánál $D = 5$ mm, vastagabb huzaloknál $D = 10$ mm legömbölyítéssel rendelkező befogólapokat használnak.

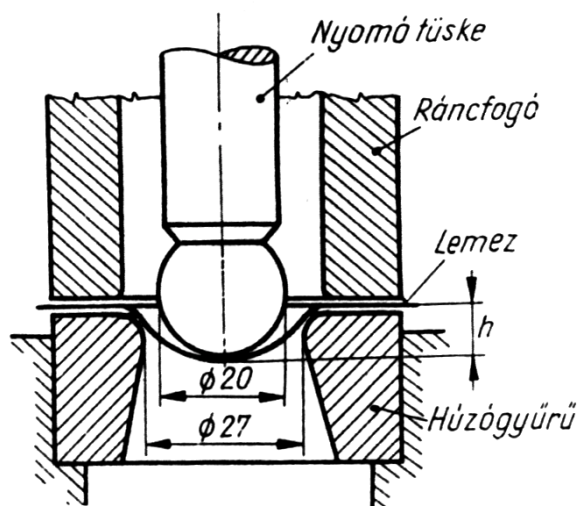


2.41 ábra. Huzal- és lemezajtogató berendezés vázlata

2.03.02. Mélyhúzó próba

Vékony (0,5...2 mm) lemezek mélyhúzással való alakításánál a lemez anyagában igen nagyfokú képlékeny alakváltozások jönnek létre, amelyet csak olyan anyag visel el, amelynek sok csúszósíkja van. Ilyenek a szabályos tér- vagy lapközponos kristályrendszerben kristályosodó színtémek és szilárd oldatok. Ezért mélyhúzásra legalkalmasabb a sárgaréz, réz, alumínium, a tiszta lágyacél és meghatározott összetételű Cr-Ni acél.

Vékony lemezek mélyhúzhatóságának vizsgálatára az Erichsen-próba szolgál, amely a 2.42. ábrán látható szerszámban a mélyhúzást utánzó művelettel történik.



2.42. ábra. Az Erichsen-próba sémája

A húzógyűrű és a ráncfogó sima felületei közé egészen kis hézaggal fogják be a mindkét felületén jól becsírozott 70 mm széles lemezdarabot, amelyet a nyomótüskével göbmsüveg alakúra nyomnak ki. A mélyhúzhatóság mértéke az *Erichsen-szám*, azaz a berepedésig elért h húzási mélység mm-ben. Ez a szám a lemezvastagsággal nő, ezért vizsgálatkor a kapott érték mellett fel kell tüntetni a vizsgált lemez vastagságát is.

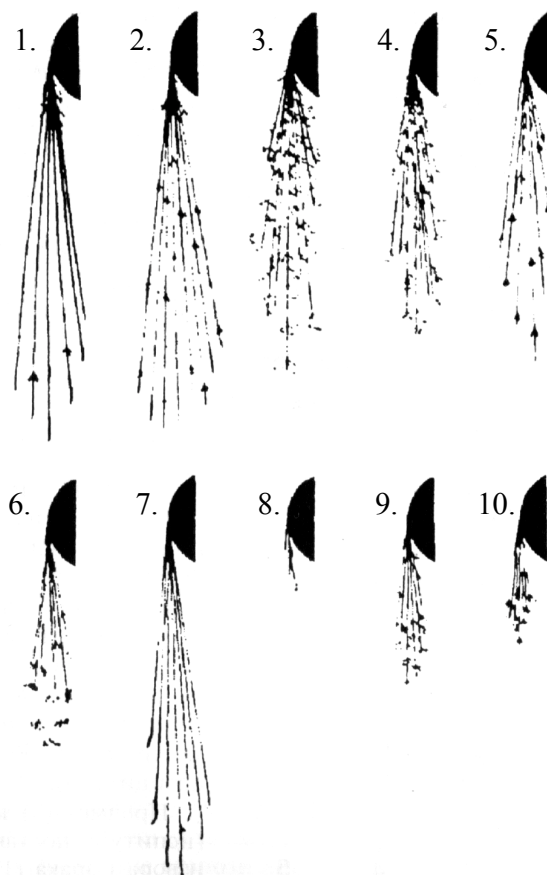
2.04. SZIKRAPRÓBA

A szikrapróba vasötvözetek – acélok és öntöttvasak gyors minőségi ellenőrzését teszi lehetővé, bár az összetétellel kapcsolatos eredmény csak hozzávetőleges. A próbát köszörüléssel végzik és a kapott szikrakéve alapján állapítják meg az anyag fajtáját és minőségét. Ismert összetételű összehasonlító etalonok segítségével pontosabb eredmény kapható. Az összehasonlításnál figyelni kell a szikrakéve nagyságát, alakját, a sugárvégződéseket és az egymásból kiágazó szikrákat. A szikrapróbák használhatóságát a 2.04. táblázat tartalmazza.

2.04. táblázat. A szikrapróbák használhatósága

C-acélok	0,2% C-különbségek könnyen becsülhetők.
Ötvözött acélok	Nagy C-tartalom és az ötvözőelemek megnehezítik némely ötvözőelem felismerését.
Mn	Csak nagyobb mennyiségben ad jól felismerhető szikraképet. A kemény Mn-acél könnyen megkülönböztethető az austenites Cr-Ni-acéloktól.
Si és V	Kimutatása bizonytalan.
Cr és Ni	Csak nagyobb koncentrációban ismerhető fel, akkor is a C-tartalom függvényében.
W	Csak 0,5% felett ismerhető fel.
Mo	Könnyen felismerhető, de mennyisége alig becsülhető. Cr, Ni és C zavarják a becslést.

Néhány acél szikraképét a 2.43. ábra szemlélteti.



2.43. ábra. Néhány acél szikraképe
1-puha C-acél, 2-középkemény C-acél, 3-kemény C-acél, 4-Mn-acél, 5-rozsmentes acél, 6-Cr-V szerszámacél, 7-gyorsvágó acél, 8-keményfém, 9-szürkeöntvény, 10-temperöntvény

2.05. KORRÓZIÓS VIZSGÁLATOK

2.05.01. A korrózió fogalma és fajtái

Korrózió alatt a fém és a környező közeg kölcsönhatásából keletkező olyan kémiai vagy elektrokémiai folyamatot értenek, amely a fémen meghatározott roncsolást idéz elő. A korrózióknak több fajtája ismert.

A fémek roncsolódását okozó hatások jellege szerint, a korrózió lehet kémiai, elektrokémiai vagy feszültség-korrózió.

A *kémiai korrózió* elektrolit nélkül játszódik le, amely a fémnek gázzal vagy dielektrikus folyadékkal (pl. benzinnel) való érintkezésekor jelentkezik. A közvetlen oxidáció útján végbemenő korrózió rendszerint nagyobb hőfokon oxidréteg képződése közben folyik le. A vas és acél nedves levegőn vagy oxigéntartalmú vizes oldatban kialakuló korrózióját rozsodásnak nevezik, melynek terméke a rozsda (vasoxid, ill. vashidroxid).

Az *elektrokémiai korrózió* mindig elektrolit jelenlétében folyik le és legfontosabb jellemzője, hogy a fém ionjai az elektrolitba oldatba mennek. A fématomok oldódása közben azok az oldatba ment ionjaitól szétválnak és ezáltal egy ún. *elektropotenciál* keletkezik. Az elektropotenciált a hidrogénhez viszonyítva mérik. Két különböző elektropotenciállal rendelkező fém galvánelemet hozhat létre, amelynek a korrózióval igen nagy szerepe van. A 2.05. táblázat néhány fém elektropotenciáljának nagyságát tartalmazza.

2.05. táblázat. Néhány fém elektropotenciálja

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

Az elempárnál a nagyobb potenciállal rendelkező fém lesz az anód, így az fogja az elektronjait leadni, tehát korrózió esetén mindig az anódos rész roncsolódik.

Elektrokémiai (galván) korrózió keletkezik ha két különböző elektropotenciájú fém érintkezik és felületüket elektrolitként ható folyadék fedi.

A *feszültségkorrózió* az elektrokémiai korrózióknak egy fajtája, amelynél az anódos anyag rész oldását a kétféle fém érintkezési helyén valamilyen feszültség olyan keskeny felületre koncentrálja, hogy a megtámadott anyag rész felületén hajszárpelédés vagy mélyébe hatoló rés keletkezik, amely rohamosan növekszik és rövid idő alatt az anyag teljes vastagságán átérő repedéssé fokozódhat.

A korrózió helye és kiterjedése alapján megkülönböztethető: *felületi korrózió*, amely a tárgy felületének nagyobb részére kiterjed, és *helyi korrózió*, ha az a fémnek egy-egy kisebb felületére koncentrálódik és ott hatol a mélybe.

Meg szokták különböztetni a *makrokorróziót*, amely két különböző fém érintkezésénél keletkezik a *mikrokorróziótól*, amely a mikroszkópi szövetképen látható különböző fázisok potenciálkülönbsége miatt lép fel.

Interkristallin (szemcsehatár) korrózióknak hívják a korróziót akkor, ha az csak a szemcsehatárokon elhelyezkedő atomokat roncsolja. Helyi mikrokorrózió a *transzkristallin korrózió*, amely nem a szemcsék határain hat, hanem azokon keresztül vágva

megy végbe. A korrózió e két formája a feszültségkorrózióval fordulnak elő.

Ha a korrózió lefolyása folyadékban megy végbe, a neve *folyadékkorrózió*, ha pedig légköri viszonyok mellett alakul ki, akkor *atmoszférikus korrózióról* van szó. *Vízpára-korrózió* keletkezik, ha azt a fém felületére lecsapódott vízgőz okozza, és *gázkorrózió* amikor azt gázok váltják ki. A talaj hatására *talajkorrózió* jelentkezik, míg a *kóboráram-korróziót* a földzárlatból eredő kóbor áramok okozzák.

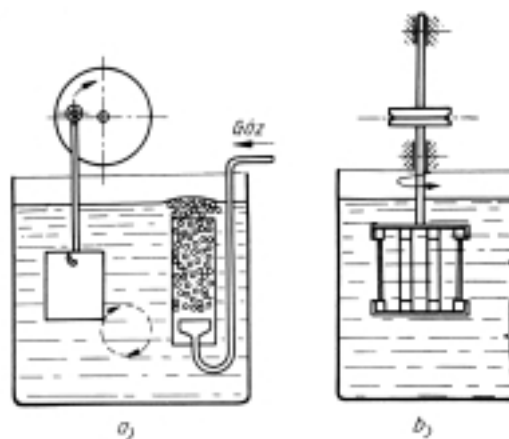
Egy fémnek a korrózióval szemben való viselkedése lehet *aktív* vagy *passzív*. Aktívnek nevezik a fém felületi állapotát akkor, ha egy bizonyos közegben könnyen korrodál. Passzív a fém felülete akkor, ha egy bizonyos közegben nem alakul ki rajta korróziós roncsolódás.

2.05.02. Felületi korróziós vizsgálatok

A fémek felületi korrózióval szembeni ellenálló képességét kétféle módszerrel szokták vizsgálni:

Légköri korróziós vizsgálat, melynek során igen hosszú ideig (évekig) vizsgálják a légköri viszonyoknak kiett, különféle felületi védelemmel ellátott próbatestek felületének a változását. A próbatestek rendszerint 100x200 mm-es lemezek, amelyeket porcelán csigák közé fogva, déli irányba fordítva 45°-os lejtéssel megfelelő tartóállványra helyeznek. Meghatározott időközökben a lemezek felületét megvizsgálják elszíneződésre, rozsdásodásra, korróziós termékekre, a károsodások mélységére, valamint mikroszkópi és szilárdsági tulajdonságváltozásokra. A kapott eredmények megbízhatóak.

Laboratóriumi gyorsított vizsgálat, amelyet folyadék alatt végeznek. E módszernél a próbatestet folyadékba merítik, amelyben megfelelő módon mozgatják, hogy az állandóan ki legyen téve a folyadék hatásának.



2.44. ábra. Folyadékkorróziós vizsgálat gáztelítéssel (a), csak mozgattal (b)

A korróziós hatás fokozására a folyadékba levegőt vagy más gázt is szoktak vezetni. A vizsgálatokhoz a 2.44. ábrán látható berendezéseket használják.

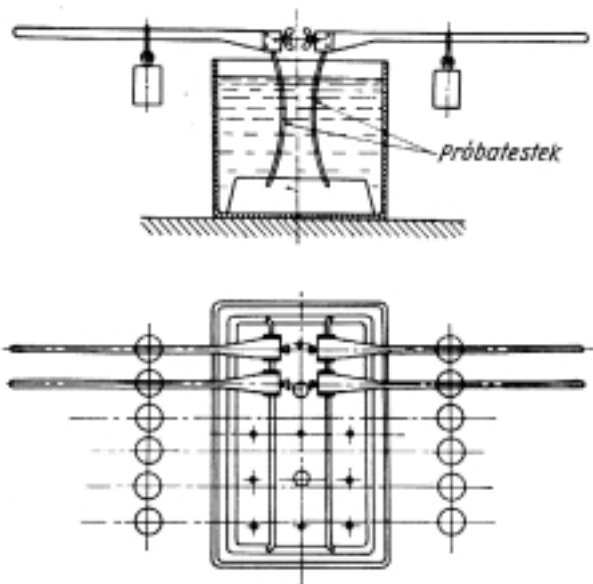
A korrózió hatásának értékelésére a korrózióknak kitett lemezek időbeli súly- vagy méretváltozása szolgál.

2.05.03. Szemcsehatár-korrózió vizsgálata

Ezt a vizsgálatot gyorsított módszerrel végzik. A próbatesteket olyan oldatban (pl. kénsav és rézszulfát vizes oldatában) főzik, amely a szemcsehatár-korróziót viszonylag rövid idő (10...72 óra) alatt kiváltja. A korrózió hatásának értékelése mikroszkópi és szilárdsági vizsgálatokkal történik. Így szokták vizsgálni pl. a 18/8 austenites CrNi acél interkristallin korrózióra való hajlamát.

2.05.04. Feszültségkorrózió vizsgálata

A fémek feszültségkorrózióra való hajlamát úgy vizsgálják, hogy a próbatesteket előfeszített állapotban teszik ki különböző korróziós hatásoknak. Egy ilyen berendezést szemléltet a 2.45. ábra. Ennél a berendezésnél a folyadékba mártott próbatestekre változó nagyságú hajlítónyomatékot lehet kifejteni egy karon eltolható súllyal. A berendezés alkalmas arra, hogy azonos anyagnak, azonos körülmények között, különböző feszültséggel szemben való viselkedését kimutassa.

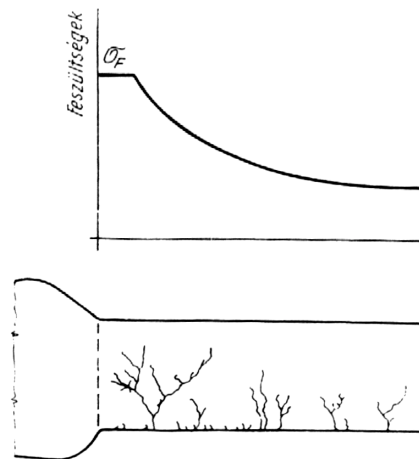


2.45. ábra. Feszültségkorróziós vizsgálat

A feszültségkorróziós vizsgálatok értékelése az idő függvényében bekövetkező károsodás, repedésmélyülés alapján történik. A feszültségkorróziót általában az jellemzi, hogy az anyag feszültséggel terhelt részében mindenütt megindul a szemcsehatárokon és a feszültség nagyságával arányosan halad a

mélybe az arra legalkalmasabb, legérzékenyebb helyeken.

Egy hegesztett varrat okozta zsugorodási feszültségmezőben keletkezett feszültségkorróziós repedésekkel teli próbatestet mutat be a 2.46. ábra. Az ábrán jól látható, hogy a repedések mélybehatolása a zsugorodási feszültségek nagyságát követi.



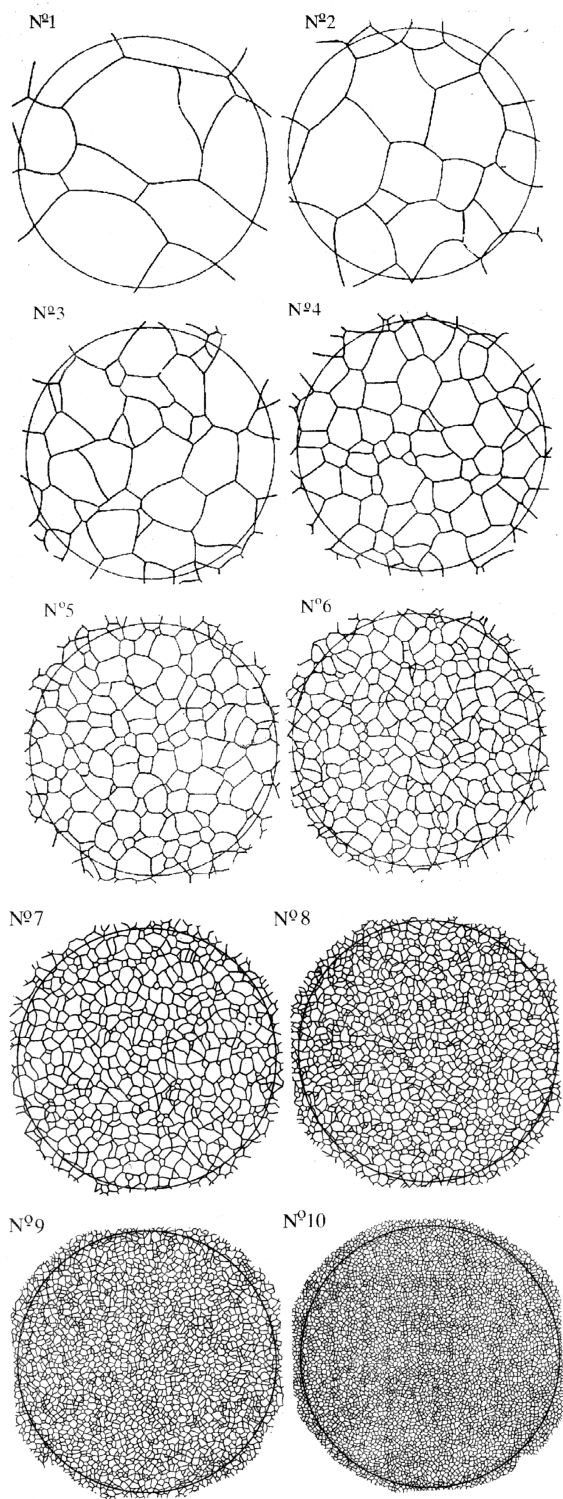
2.46. ábra. Lágyacél feszültségkorróziós repedései egy hegesztett varrat zsugorodási feszültségmezőjében

2.06. SZÖVETSZERKEZET-VIZSGÁLAT

Fémes anyagok szövetszerkezetét fémmikroszkóppal vizsgálják. Van makroszkópos és mikroszkópos vizsgálat. A vizsgálatot próbadarabon végzik, melynek mérete a vizsgálat céljaihoz igazodik, felülete általában 1...3 cm².

Makroszkópos vizsgálatnál a nagyítás 5...30-szoros. A vizsgálat megfelelő nagyítóval vagy mikroszkóppal történik. Főleg öntött, hengerelt, sajtolt és kovácsolt munkadarabok vizsgálatára alkalmazzák. A próbadarabot a vizsgálatához elő kell készíteni, ami csiszolásból és valamilyen sav vagy só oldatával való maratásból áll. Ezzel a vizsgálattal az öntött daraboknál megállapíthatók a különböző üregek és záródmányok, míg a hengerelt, kovácsolt és sajtolt daraboknál a szálak iránya.

Mikroszkópos vizsgálatnál a nagyítás 50...1500-szoros. A vizsgálatot kizárólag fémmikroszkóppal végzik, amely fényvisszaverődéssel működik. A próbadarabot itt is elő kell készíteni a vizsgálatához. Az előkészítés egyre finomabb szemcséjű csiszolópapírral való csiszolással kezdődik. A lecsiszolt felületet gondosan meg kell tisztítani. Utána következik a fényesítés (polírozás) és végül a maratás, amelyet megfelelő maratószerrel végeznek. Maratószer lehet sav, bázis vagy só meghatározott összetételű oldata. Ennek kiválasztása a vizsgált anyag fajtájától függ.



2.47. ábra. Összehasonlító méhsejtminták a szemcsenagyság meghatározásához

A maratás célja, hogy a szövetszerkezet egyes alkotói elveszítsék a fényüket és a szemcsék éleesebb körvonalat kapjanak. A próbatest csiszolt és kima-
ratott felületére eső fénysugarakból, amelyek fémes felületekre (ezekre a maratószer nem hatott) esnek, teljes egészében visszaverődnek, míg azok, amelyek matt felületekre (ezek a maratószer hatása kö-

vetkeztében rücskössé váltak) esnek, csak részben verődnek vissza és ezért a mikroszkóp szemlencsájében fekete foltok alakjában jelennek meg. Ennek köszönhetően a szövetszerkezet egyes elemei egymástól jól megkülönböztethetők. A szemlencsében megjelenő képet le is lehet fényképezni vagy kivetíteni.

A kapott kép segítségével meghatározható a szemcsenagyság. Az acélok szemcsenagyságának mérését szabvány határozza meg. Leginkább az amerikai, anyagvizsgálatokra érvényes ASTM szabványt alkalmazzák, amely a szemcsenagyság alapján tíz fokozatot különböztet meg. A 100-szoros nagyítással kapott mikroszkópi képet mintákkal (2.47. ábra) hasonlítják össze s ennek alapján határozzák meg a szemcsenagyságot. A szabvány minden fokozatra meghatározza az 1 mm^2 -re és az 1 mm^3 -re eső átlagos szemcseszámot (2.06. táblázat).

2.06. táblázat. Acélok szemcsenagysága

Szemcsenagyság jelzőszáma	Szemcseszám		Egy szemcse átmérőjének átlagértéke mm-ben
	mm^2 -enként	mm^3 -enként	
1	16	45	0,25
2	32	128	0,18
3	64	360	0,125
4	128	1020	0,091
5	256	2900	0,062
6	512	8200	0,044
7	1024	6500	0,032
8	2048	23000	0,022
9	4096	185000	0,016
10	8200	520000	0,011