

BITAY ENIKŐ

ANYAGTUDOMÁNYI LABORATÓRIUM I.

TULAJDONSÁGMINŐSÍTŐ VIZSGÁLATOK

TULAJDONSÁG-
MINŐSÍTŐ
VIZSGÁLATOK

MEGMUNKÁL-
HATÓSÁGI
VIZSGÁLATOK

FÉMTANI
VIZSGÁLATOK

ANYAG-
SZERKEZETANI
VIZSGÁLATOK

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

BITAY ENIKŐ
ANYAGTUDOMÁNYI LABORATÓRIUM I.
Tulajdonságminősítő vizsgálatok

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK

11.

ISSN 2068 – 3081

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK

11.

BITAY ENIKŐ

ANYAGTUDOMÁNYI LABORATÓRIUM I.
Tulajdonságminősítő vizsgálatok



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

Kolozsvár

2011

A kutatást támogatta:
Az MTA–OM, DOMUS HUNGARICA SCIENTIARIUM ET ARTIUM

A könyv megjelenését támogatta:



BETHLEN GÁBOR
Alap

© Bitay Enikő, EME 2011

Szaklektor: Dr. Bagyinszki Gyula
Kiadja: Az Erdélyi Múzeum-Egyesület
Felelős kiadó: Biró Annamária
Sorozatszerkesztő: Bitay Enikő
Olvasószerkesztő: Kerekes György
Borítóterv: Könczey Elemér
Műszaki szerkesztő: Szilágyi Júlia

Nyomdai munkálatok:

F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós
Ügyvezető igazgató: Ambrus Enikő
Tel./Fax: +40-266-364171

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

BITAY, ENIKŐ

Anyagtudományi laboratórium / Bitay Enikő. - Cluj-Napoca :
Societatea Muzeului Ardelean, 2011-
4 vol.

ISBN 978-606-8178-30-1

1. kötet : Tulajdonságminősítő vizsgálatok. - 2011. - Bibliogr. -
ISBN 978-606-8178-31-8

620

TARTALOM

| | |
|---|----|
| Előszó | 9 |
| 1. Anyagtudományi gyakorlatmodulok a mérnökképzésben | 11 |
| 1.1. Bevezetés | 11 |
| 1.2. A gyakorlatok helye és jelentősége a felsőoktatásban..... | 12 |
| 1.3. A gyakorlatok feladata és funkciói | 13 |
| 1.4. A gyakorlati foglalkozások fajtái | 14 |
| 1.5. Tantermi és laboratóriumi gyakorlatok..... | 15 |
| 1.6. Anyagtudományi gyakorlatmodulok és előkészítésük..... | 18 |
| 2. Gyakorlati program, laborrend, baleset- és tűzvédelem..... | 22 |
| 2.1. Az anyagvizsgáló laboratórium (munka)rendje..... | 22 |
| 2.1.1. Alapszabályok a laboratóriumi munka végzéséhez | 23 |
| 2.1.2. A gyakorlaton részt vevő hallgató kötelezettségei | 24 |
| 2.2. Általános laboratóriumi baleset- és tűzvédelmi előírások..... | 25 |
| 2.2.1. Balesetvédelmi előírások | 25 |
| 2.2.2. Tűzvédelmi előírások..... | 27 |
| 2.3. Laboratóriumi mérés/vizsgálat jegyzőkönyve | 28 |
| 3. Szakítóvizsgálat és kiértékelése..... | 32 |
| 3.1. Statikus szilárdsági vizsgálatok célja, felosztása | 34 |
| 3.2. Szakítóvizsgálati próbatestek kialakítása, előkészítése..... | 34 |
| 3.3. Szakítóvizsgálat elvégzése..... | 35 |
| 3.4. Szakítóvizsgálatból nyert adatok értelmezése, kiértékelése | 37 |
| 3.5. Szakítóvizsgálat nagy hőmérsékleten..... | 39 |
| 3.6. Szakítóvizsgálat kis hőmérsékleten..... | 40 |
| 3.7. Nyomóvizsgálat | 41 |

| | |
|---|-----|
| 4. Keménységmérés | 43 |
| 4.1. A keménységmérések felosztása | 43 |
| 4.2. Brinell-keménységmérés | 44 |
| 4.3. Poldi-keménységmérés | 46 |
| 4.4. Vickers-keménységmérés | 48 |
| 4.5. Knoop-keménységmérés | 49 |
| 4.6. Rockwell-keménységmérés | 50 |
| 4.7. Shore-féle ejtő keménységmérés | 53 |
| 4.8. Keménységmérés növelt hőmérsékleten | 56 |
| 5. Törésmechanikai vizsgálatok és ellenőrző számítások | 57 |
| 5.1. Képlékeny és ridegtörés: repedéskeletkezés és -terjedés | 57 |
| 5.2. Charpy-féle ütve hajlító vizsgálat | 58 |
| 5.3. K_{Ic} törési szívósság értelmezése, meghatározási lehetőségei | 61 |
| 5.4. Repedés veszélyességének megítélése ellenőrző számítással | 63 |
| 6. A kúszás és kifáradás elemzése számítással | 66 |
| 6.1. A kúszás (tartós folyás) jelensége, mérőszámai | 66 |
| 6.2. Kúszási esettanulmányok elemzése számítással | 69 |
| 6.3. A kifáradás jelensége, mérőszámai | 73 |
| 6.4. Kifáradási esettanulmányok elemzése számítással | 78 |
| 7. Anyagazonosító próbák és szempontok | 83 |
| 7.1. Szemrevételezésen (szín, fény, metszet- vagy töretkép) alapuló anyagazonosítás | 83 |
| 7.2. Mechanikai és kémiai elvű anyagazonosítás | 84 |
| 7.3. Műanyagok égetési (hevítési) próbájának elvégzése | 85 |
| 7.4. Az anyagvizsgálat szikrapróbás módszere (Bermann-szikrapróba) | 85 |
| 8. Akiről, amiről még érdemes tudni | 94 |
| 8.1. Bermann Miksa (1861–1925) az „acélanatómus” | 94 |
| 8.2. August Brinell (1849–1925) | 97 |
| 8.3. Georges Charpy (1865–1945) | 98 |
| 8.4. Poldi Öntöde – Karl Wittgenstein | 100 |
| 8.5. Hugh M. Rockwell (1890–1957) és Stanley P. Rockwell (1886–1940) | 101 |
| 8.6. Vickers Ltd | 103 |

| | |
|--|-----|
| 8.7. Leonardo da Vinci (1452–1519) szakítógépe..... | 104 |
| 8.8. Alan Arnold Griffith (1893–1963) a törésmechanika megalapítója..... | 106 |
| 8.9. A Titanic az anyagtudomány fókuszában..... | 107 |
| Melléklet | 113 |
| Szótár | 115 |
| Tárgymutató | 129 |
| Irodalom | 134 |
| Materials Science Laboratory I. Tests for Investigation of Material Properties (Summary)..... | 137 |
| Contents | 139 |
| Laborübungen an Werkstoffkunde I. Versuchungen für bestimmen die Eigenschaften der Materialien (Zusammenfassung)..... | 142 |
| Inhalt | 144 |
| Laboratorul științei materialelor I. Încercări pentru determinarea proprietăților materialelor (Rezumat)..... | 147 |
| Cuprins | 149 |

ELŐSZÓ

A műszaki felsőoktatás fontos részterülete az anyagtudomány oktatása. Az előadásokon bemutatott szerkezeti anyagok jobb megismerését szolgálják a tantermi és a laboratóriumi gyakorlati foglalkozások. A gyakorlat(ok) jelentőségét felértékeli, hogy általában kis csoportokban, az előadásokhoz képest „élet-szerűbb” környezetben zajlik, és a tantervben szereplő feladatokon, készség-fejlesztő tevékenységeken kívül lehetőséget nyújt az adott tárggyal kapcsolatos hétköznapi, gyakorlati példákon keresztül történő fogalomtisztázásra, az aktualitások, legújabb eredmények, alkalmazások, érdekességek megismerésére.

A gyakorlatokon célszerű, illetve szükséges foglalkozni az anyagok összetevőivel, szerkezetével, választékával, konstrukciós tervezéshez alapot adó fizikai tulajdonságaival, technológiai szempontú megmunkálhatóságával, valamint üzemeltetés közbeni károsodásállóságával és ezek mérhetőségét, számszerűsíthetőségét, ellenőrizhetőségét – azaz az anyagminősítést – lehetővé tevő fontosabb vizsgálati módszerekkel.

Elsősorban azokkal a tulajdonságokkal és a hozzájuk kapcsolódó fontosabb vizsgálati módszerekkel indokolt foglalkozni, amelyek a tervezési (anyagki-választási) követelményeket elégitik ki, továbbá lehetőséget adnak összehasonlításra, illetve a szabványosítást is szolgálják. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a szabványos(ított) anyagok esetében leggyakrabban a vegyi összetételre és a mechanikai tulajdonságokra, esetenként egyéb fizikai tulajdonságokra találunk előírásokat, számszerű adatokat a vonatkozó hazai, illetve nemzetközi szabványokban.

Esetenként nincs mód (eszközhiány, illetve a vizsgálatok költség- és időigényessége miatt) vagy nincs szükség pontos összetétel-meghatározáson alapuló anyagazonosításra. Ilyenkor szóba jöhetnek olyan egyszerű és gyors eljárások, amelyekkel az „ismeretlen” anyag tulajdonságaira, majd azokból az anyag típusára következtethetünk.

A károsodásfelhalmozódási folyamatok vizsgálatával lehet az anyagok károsodásállóságát (károsodással szembeni ellenállását) megítélni, rangsorolni, ami sok esetben nem jellemezhető konkrét mérőszámokkal, hanem a (rendszerint nagyszámú) befolyásoló tényezők segítségével határértékeket, kritériumokat lehet felállítani, tervezési, gyártási és üzemeltetési szempontokat lehet megadni.

Ez az oktatási irányultságú könyv a szerkezeti anyagok tulajdonságminősítő vizsgálataival, illetve az azokhoz kapcsolódó számítási feladatokkal foglalkozik. Kiemelt szerepet kapnak a szabványos anyagjellemzők – szilárdság, keménység, ütőmunka – meghatározási módszerei, a törésmechanika alapjai, valamint a kúszás és a kifáradás számítással történő elemzése. Ezen részterületek ki egészülnek még az anyagazonosítás egyszerű megoldásaival.

Ezen gondolatok jegyében ajánlom ezt a könyvet az anyagtudomány gyakorlati oldalát megismerni szándékozók figyelmébe.

A szerző

1. ANYAGTUDOMÁNYI GYAKORLATMODULOK A MÉRNÖKKÉPZÉSBEN

1.1. Bevezetés

A mérnökképzés célja a hallgatók felkészítése a technika alkalmazása és fejlesztése terén végzendő munkára, olyan elméleti és gyakorlati ismeretek elsajátítására, hogy tanulmányaik befejezése után képesek legyenek műszaki szakterületük fejlődési irányainak előrejelzésére, új kihívások megoldására mind a saját szakterületükön, mind a rokon tudományágakban, illetve az alaptudományok határterületein.

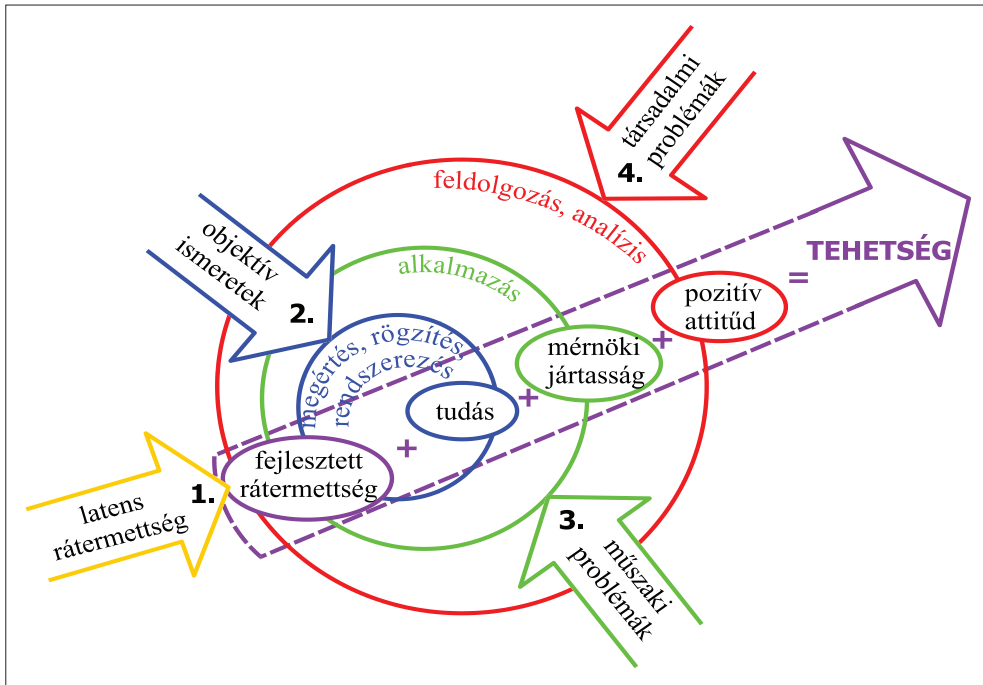
A mérnökképzés egy lehetséges algoritmusát (**1.1. ábra**) tekintve három cirkulációs kört különböztethetünk meg:

- Az 1. cirkulációs körben folyik az objektív ismeretek (tananyag) megértése, rögzítése és rendszerezése. Ennek eredményeképpen a szubjektív ismeretek (tudás) mennyisége növekszik, a latens rátermettség fejlődik, kibontakozik.
- A 2. cirkulációs körben műszaki problémák megoldása történik, ami növeli az első körben lejátszódó folyamat hatékonyságát. Itt fejlődnek ki a mérnöki készségek, tovább csiszolódnak a hallgatók adottságai és műszaki érzéke.
- A 3. cirkulációs körben – társadalmi problémák feldolgozása révén – tovább javul az első két körben lejátszódó folyamat hatékonysága, kifejlődik a mérnöki (értelmiségi) hivatáshoz szükséges pozitív hozzáállás (attitűd).

Jól szervezett képzés esetén a cirkuláció mindhárom körben egyszerre indul meg, és mindháromban a képzés végéig tart. A kibontakoztatott rátermettség, a szilárd tudás, a mérnöki készségek és a pozitív társadalmi hozzáállás eredőjeként kialakul a képzés végeredménye: a mérnöki tehetség.

Ha a mérnökképzés elején csak az első körben van cirkuláció – amikor a beáramló ismeretek túlnyomórészt általánosak, elméletiek, elvontak –, akkor annak negatív következményei lehetnek:

- a szakmai motiváció kezdeti hiánya;



1.1. ábra
A mérnökképzés algoritmus

- az elmélet és az alkalmazás közötti széles szakadék;
- az egyébként is nagyon időigényes készségfejlesztésnek bepótolhatatlanul későn való kezdése.

Hogy a képzés elején mindhárom körben meginduljon a cirkuláció, többek között a gyakorlati-műszaki problémákat is az első évtől kezdve kell behívni a képzési folyamatba. Mint ahogy az objektív ismeretek halmazának is csak egy töredékét lehet a hallgatónak megtanítani, ugyanúgy a műszaki problémákból is csak a legjellegzetesebbeket kell (és szabad) a képzési folyamatba bevenni. E feladat megoldásának hatékony eszközei a gyakorlati foglalkozások.

1.2. A gyakorlatok helye és jelentősége a felsőoktatásban

A gyakorlat – a legáltalánosabb értelemben – egy-egy foglalkozással, szakmai tevékenységgel összefüggő legkülönbözőbb cselekvések, munkálatok elsajátítását foglalja magában. Ebben az értelemben a felsőoktatás gyakorlata nemcsak a tényleges gyakorlati órákat, hanem a képzés legkülönbözőbb formáit is jelenti,

vagyis a gyakorlással szerzett mindenféle hozzáértést, jártasságot; a szakma, a kutatási ismeretanyag alkalmazását, termelésben történő felhasználását.

A gyakorlat(ok) jelentőségét az adja meg, hogy általában kis csoportokban, az előadásokhoz képest „életszerűbb” környezetben zajlik, és a tantervben szereplő feladatokon, készségfejlesztő tevékenységeken kívül lehetőséget nyújt az adott tárggyal kapcsolatos hétköznapi, közismert, gyakorlati példákon keresztül történő fogalomtisztázásra, az aktualitások, legújabb eredmények, alkalmazások, érdekességek, kuriózumok megismerésére.

1.3. A gyakorlatok feladata és funkciói

A gyakorlatok feladatát és funkcióit vázlatosan az alábbiak szerint foglalhatjuk össze:

I. Az előadott, önállóan elsajátított elmélethez kapcsolódva:

- egyes elméleti tételek alátámasztása, igazolása, esetleg előkészítése (az elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazása);
- információszerzés arról, hogy a hallgatók mennyire értették meg az elméleti tananyagot;
- az elméleti ismeretanyag kiegészítése, elmélyítése;
- a mindenkor aktualizálható tananyagminimum alkalmazása, ismételése.

II. Készségek fejlesztése:

- manuális készségek, ügyesség kialakítása, begyakorlása;
- megfigyelési, gondolkodási, kritikai készség kialakítása;
- speciális szakkészségek kifejlesztése;
- kifejező, előadási, anyagátadási készségek kibontakoztatása.

III. Nevelési feladatok megvalósítása:

- a személyiség kibontakozásának elősegítése;
- tanulás-, tudás- és alkotásvágy felkeltése, ébrentartása;
- önálló és csoportmunkára való nevelés (munkamorál és felelősségtudat kialakítása);
- oktató és hallgató kölcsönös segítése jelentőségének megértetése.

IV. Műszerek, eszközök rendeltetésszerű használatának megismertetése:

- műszerek és más berendezések szerkezetének, működtetésének bemutatása, illetve begyakoroltatása;
- kézikönyvek, szakirodalom, szakterületi táblázatok használatának megtanítása.

V. Felkészítés az életre:

- ismeretek önálló alkalmazásának gyakoroltatása;
- praxisból vett feladatok megoldása;
- munkahelyi (üzemi) gyakorlatok.

VI. Felkészítés a kutatómunkára:

- önálló alkotómunka (bekapcsolódás a tanszéki kutatásokba, tudományos diákköri tevékenység, diplomamunka);
- komplex (szaktárgyi) feladatok megoldása.

Természetesen nincs olyan gyakorlat, amelynél a felsorolt feladatok és funkciók mindegyikével számolni kellene, vannak viszont olyan általános funkciók, amelyek minden gyakorlatra érvényesek:

- dinamikus szellemi aktivitás;
- alkotó gondolkodás;
- jelenségek közötti összefüggések, viszonyok keresése, megértése, kifejezése;
- a jelenségek részfolyamatainak logikus és tudatos követése lépésről lépésre;
- a szabályok, törvényszerűségek önálló megfogalmazása.

Egyes demonstrációs gyakorlatok beépülhetnek az előadássorozatba, annak szerves részét alkothatják, színeesebbé téve az előadást, illetve felhívva a figyelmet egy-egy fontos részre.

1.4. A gyakorlati foglalkozások fajtái

A műszaki felsőoktatás gyakorlatainak csoportosítása történhet jellegük és helyszíneik alapján.

Jellegük szerint lehetnek:

- előadáshoz kapcsolódó félévközi gyakorlatok (tantermi, rajztermi, laboratóriumi és műhelygyakorlatok);
- szemináriumok (elsősorban a társadalomtudományi tárgyak esetében);
- termelési gyakorlatok (üzemben, az alapképzés keretében);
- szaktárgyi gyakorlatok (üzemben, a szakképzés keretében);
- önálló tárgyként szereplő komplex gyakorlatok;
- projektfeladatok
- diplomatervezési gyakorlatok;
- konzultációk;
- üzemlátogatások, tanulmányi kirándulások;

- tudományos diákköri tevékenység;
- tanszéki kutatómunkák,
- demonstrátori tevékenység.

Helyszíneik alapján lehetnek:

- tantermi gyakorlatok: szeminárium (tananyag-feldolgozás), példamegoldás, konzultációk, előkészítő megbeszélések, szakdolgozat, diplomaterv-készítés, irodalomkutatás, referálás;
- rajztermi gyakorlatok: szerkesztési és tervezési feladatok, mérési adatok grafikus feldolgozása;
- laboratóriumi gyakorlatok: manuális készségfejlesztés, mérések, bevizsgálások, kísérletelőkészítések és kísérletek, mérésösszeállítások, kutató-fejlesztő munkák, bemutatók, különféle (speciális) számítógépes feladatok, diplomamunka;
- műhelygyakorlatok: manuális készségfejlesztés, technológiák megismerése, berendezések bemutatása, illetve üzemeltetése, üzemviteli mérések elvégzése, technológiai irányítás, diplomamunka;
- üzemi gyakorlatok: manuális készségfejlesztés, termelőmunka végzése, technológiák megismerése, berendezések üzemeltetése, üzemviteli mérések végzése, üzemvezetési ismeretek szerzése, fejlesztő- és kutatómunka végzése, diplomaterv-feladatok kidolgozása, végrehajtása;
- terepgyakorlatok: felmérések végzése, objektumok tanulmányozása, esettanulmányok készítése, anyagminták gyűjtése.

A tantárgyi célkitűzések szükségessé tehetik, hogy az ismeretanyag alapos elsajátításához többféle gyakorlatfajtát is alkalmazzanak, de ezek csak kellő összhangban biztosítják a kívánt hatást. A továbbiakban az anyagtudomány szempontjából legfontosabb gyakorlatfajtákkal – a tantermi és a laboratóriumi (műhely-) gyakorlatokkal – foglalkozunk.

1.5. Tantermi és laboratóriumi gyakorlatok

A tantermi és a laboratóriumi foglalkozásoknak kell biztosítaniuk az elmélet és a gyakorlat kapcsolatát. Éppen ezért gyakran kezdődnek a legfontosabb tudományos elméleti általánosítások felidézésével, mivel ezek szolgálnak a hallgatók munkájának kiindulópontjául. Természetesen a legjobb az, ha a hallgatók maguk idézik fel ezeket, mivel ennek tudatában jobban felkészülnek a gyakorlatra.

Tantermi gyakorlatok

Az ilyen gyakorlatok tematikája rendszerint az elméleti ismeretek gyakorlati alkalmazását jelentő különböző példák és feladatok megoldása, illetve az ezekhez kapcsolódó ismeretanyag rendszerezése és lehetőségek szerinti szemléltetése.

Az ilyen jellegű foglalkozásokra való felkészülés megköveteli, hogy a foglalkozás vezetője gondosan válassza ki az egyes feladatok számát és tartalmát azok megoldásával együtt úgy, hogy a hallgatók idejéből „kiteljék” a feladatok megoldása, a foglalkozásvezető pedig minden pillanatban korrigálni tudja a módszertani, a számolási hibákat és a pontatlanságokat is. A jövőbeni mérnököket kezdetől fogva pontosságra és számítási eredményeikkel kapcsolatos felelősségük tudatára kell szoktatni, az elemi számolási hibákkal kapcsolatban pedig azonnal meg kell magyarázni az ilyen hibáknak a gyakorlatban mutatkozó gazdasági és műszaki következményeit.

A példák és feladatok kiválasztásakor fokozatosan haladjunk az egyszerűbb és könnyebb feladatokról a nehezebbek felé, arra is ügyelve, hogy lehetőleg közel álljanak a tényleges gyakorlati problémákhoz, megoldásuk ne csak egyik vagy másik képlet formális alkalmazása legyen a hallgató számára, hanem reális, gyakorlati tartalom, valóságához igazodó nagyságrendek jellemezzék.

Az adott foglalkozásra tervezett feladatok gondos kiválogatása és megoldása még nem meríti ki a foglalkozásra való felkészülést. Ugyanilyen alaposan át kell gondolni és ki kell dolgozni a foglalkozás levezetésének módszerét is. A helyesen levezetett tantermi gyakorlat ugyanolyan elemekből épül fel, mint a jó előadás:

- a témába való bevezetésből;
- a téma kifejtéséből;
- és rövid szintetizáló összefoglalásból.

A tanulókori vagy fél tanulókori keretek között lefolytatott tantermi gyakorlat az egyik tipikus gyakorlati forma. Ez a létszám lehetővé teszi, hogy a hallgatók maguk is gyakran szerepeljenek, az oktató pedig közelebb kerülve a hallgatókhoz, bizonyos fókig egyénileg is figyelemmel kísérhesse fejlődésüket.

Laboratóriumi (műhely-) gyakorlatok

A laboratóriumi oktatás célkitűzései közül kiemelhető:

- a felszereléssel való megismerkedés;
- a gyakorlati készségek és a pontos megfigyelés képességének kialakítása;
- a tudományos módszer beidegződése;
- az eredmények értékelésében és értelmezésében való jártasság kialakítása;

- megfigyelések feljegyzésének, illetve az eredmények bemutatásának képessége.

A gyakorlati-kísérletező foglalkozási forma közvetlen, aktív cselekvésre készíti a hallgatókat, s ezzel optimális feltételeket teremt maximális aktivizálásukhoz. Az aktivitás foka – az adott laboratóriumi foglalkozás jellegétől függően – különböző lehet. Függ a különböző tudományágak sajátosságaitól, valamint azoktól a céloktól is, amelyeket az egyes laboratóriumi gyakorlatoknak meg kell valósítaniuk. Ezeket a célokat nemcsak az adott tudományág sajátosságai differenciálják, hanem a hallgatók tanulmányaikban való előrehaladása is, valamint az önálló kísérletezésre való felkészültségük.

A laboratóriumi gyakorlatoknak szinte elmaradhatatlan tartozékai a kultúráltan vezetett, jól tagolt, áttekinthető jegyzőkönyvek, amelyek maradéktalanul rögzítik:

- a gyakorlati óra lényegét, menetét;
- az alkalmazott berendezések, eszközök vázlatos szerkezeti rajzát és fontosabb adatait;
- a megoldások módját;
- a számításokat, a grafikonokat;
- továbbá az elért, „felfedezett” eredményt, a levont következtetéseket.

A képzés folyamán, a laboratóriumi gyakorlatok keretében a hallgatóknak egyre nehezebb műveleteket kell elsajátítaniuk, és ezek adják meg az alapokat az önálló munkák, elsősorban a diplomamunka elvégzéséhez. Ezenkívül nagyszerű alkalmat adnak a tudományos kutatás módszereinek megismerésére is.

A képzés kezdetén bizonyos manuális készségek kifejlesztése, alapvető laboratóriumi eszközök megismerése és használatuk begyakorlása, a későbbiekben mérő, analizáló, kísérleti (kutató-) munkák végzése folyik a gyakorlatok keretében.

Ha a laboratóriumi gyakorlatok az előadással párhuzamosan folynak, az egyes foglalkozások tematikáját össze kell hangolni az előadások tartalmával úgy, hogy ne legyen szükség minden foglalkozás előtt érdemi bevezetésre, s a bevezetést a módszertani útmutatásokra lehessen korlátozni. Ha a gyakorlatokra az előadássorozat befejezése után kerül sor, lehetőség nyílik a tematika komplex megragadására és a hallgatók nagyobb fokú önállóságának megkövetelésére.

1.6. Anyagtudományi gyakorlatmodulok és előkészítésük

A **1.2. ábra** a műszaki – főként a gépész és mechatronikai szakirányú – mérnökképzés anyagtudományi gyakorlatmoduljaira tesz javaslatot, figyelembe véve a magyar műszaki felsőoktatás hagyományait is. Egy-egy modul kéthetenkénti 2 órás gyakorlatot feltételez, lehetővé téve (kellő órakeret esetén) egy másik modul párhuzamos teljesítését is.

Míg az első két modul a anyagtudomány-előadásokat támogató klasszikus gyakorlatsorozat, addig a második két modul már előkészíti az anyagtudományhoz viszonylag szorosan kötődő anyagtechnológiák jobb megismerését is.

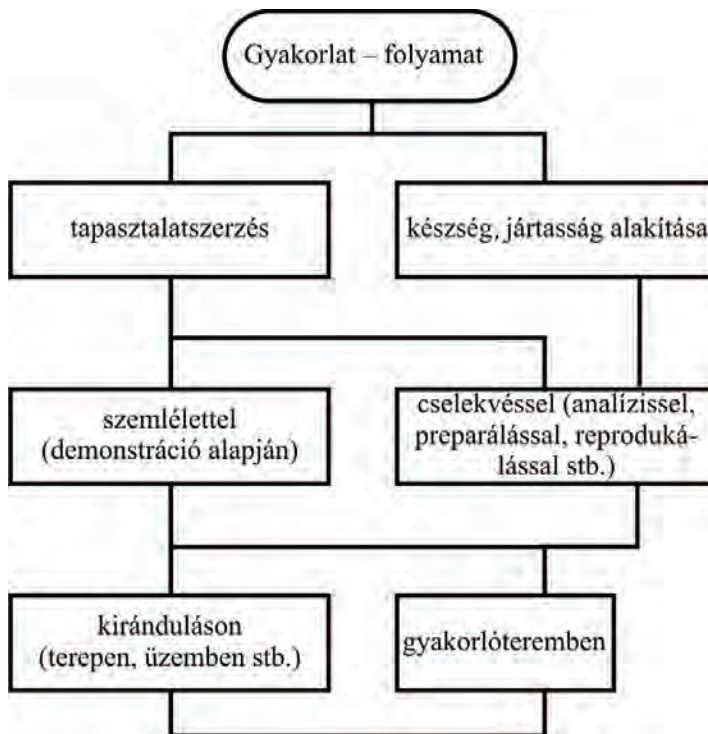


1.2. ábra
Anyagtudományi gyakorlatmodulok

A gyakorlat nagyon komplex folyamat, amelynek elágazó részletei közötti belső összefüggéseket a **1.3. ábrán** látható vázlat mutatja.

A gyakorlatok mint a tapasztalatszerzés legfőbb forrásai általában társas foglalkozások. Éppen ezért a megfelelő munkaléggkört a legmesszebbmenően biztosítani kell. Ennek elsősorban a munkahelyek legkedvezőbb kialakítása, azután a megfelelő felszerelés biztosítása, a hallgatók jó csoportba osztása és a kulturált hangnem a legfőbb feltétele.

A kiscsoportos oktatási formához az optimális hallgatólétszám 8-12 fő, esetenként párosítva. E létszámból következik a helyiség kérdése. A hallgatókhoz csatlakozik egy gyakorlatvezető és egy laboráns, így a gyakorlóterem minimálisan 15-20 m² alapterületű, illetve 3 m belmagasságú legyen. Biztosítani kell a szellőztetést és a működőképes tűzoltókészülékek felszerelését is. A gyakorlóhelyiség tökéletes megvilágításához az esetek legnagyobb részében árnyéktól mentesítő szórt fényre van szükség.



1.3. ábra

A gyakorlatfolyamat összefüggései

Speciális megoldás a gyakorlóhelyiségben az ún. „forgószínpad” elrendezés, amikor is minden munkahelyen másféle gyakorlati feladatot végeznek ugyanabban az időben. Olyankor indokolt ez a módszer, amikor a felszerelés mennyisége nem elegendő. Az elrendezés már készen kell hogy várja a hallgatóságot, és mindaddig fennmarad, amíg a csoport minden tagja vagy párosa el nem végezte az összes munkahely feladatait. A forgószínpados gyakorlatra jobban fel kell készülnie a hallgatónak megfelelő útmutató alapján, mint az azonos feladatú (szimultán) gyakorlat esetében. A megfelelő sorszámú munkahelyen ott találja a szükséges eszközöket és az elvégzendő feladat vázlatát, amelyre már bővebben felkészült az útmutatóból.

A laboráns a gyakorlatvezető „jobbkeze”, akit esetenként irányítani kell, mert a gyakorlatok tematikája nem végleges, időszakonként fejlesztést igényel. A gyakorlatvezető tehát megbeszéli a laboránssal, hogyan kívánja levezetni a soron következő gyakorlatot, mire kell ügyelni. A gyakorlatvezető megvizsgálja a laboráns által előkészített kellékeket, a begyűjtött anyagot. Felülvizsgálja a gyakorlati helyiség rendjét és tisztaságát is, amit a laboráns a takarítószemélyzet segítségével biztosított.

Az már nem tartozik szorosan az előkészítéshez, mégis nagyon fontos, hogy a gyakorlatvezető maga is kipróbálja, mennyi idő alatt sikerül hibátlanul elvégeznie a hallgatók számára előírt manuális feladatokat.

Jó a gyakorlat, ha minden részletre felkészült a vezető. Ezt egy munkavázlat segíti elő legjobban. Ezen gyakorlati munkavázlat kidolgozása elképzelhető úgy is, hogy egy-egy gyakorlatnak kijelölt oktatófelelőse van, aki az adott téma legjobb intézeti vagy tanszéki művelője. Ő készíti el ezt a vázlatot, és a többiek rendelkezésére bocsátja, illetve felel a gyakorlat előkészítésének összes fázisáért, és az esetleges változásokról értesíti a kollégákat.

Egy ilyen munkavázlat felépítése a következő lehet:

A GYAKORLAT MEGNEVEZÉSE

A gyakorlat célja

A gyakorlat felépítése

1. A téma helye a tantárgy, illetve a tudományág rendszerében

2. (A kísérletekhez szükséges berendezések bekapcsolására figyelmeztetés, ha megfelelő állapotba hozásuk hosszabb időt igényel, pl. kemencék pró-

batestek felhevítéséhez.) A berendezés rövid bemutatása

3. Tárgyi ismeretek közlése I.

- a vizsgálat, kísérlet előzményei
- számpéldák elméleti, matematikai alapjai
- a begyakorlandó tevékenység elvi alapjai
- bemutatandó objektumok, folyamatok elméleti háttere (felsorolva az ismertetendő anyag címszavait)

4. Kísérletek elvégzése

Mintapéldák bemutatása

Begyakorlandó tevékenység és eszközei bemutatása

Szemléltetőeszközök bemutatása (modell, tábló stb.)

5. Tárgyi ismeretek közlése II.

- a vizsgálat, kísérlet következményei
- számpéldák gyakorlati háttere, alkalmazása
- a begyakorlandó tevékenység, gyakorlat üzemi alkalmazása
- bemutatandó objektumok, folyamatok alkalmazási területe (felsorolva az ismertetendő anyag címszavait)

6. Anyagvizsgálatok elvégzése (előkészítés, pl. maratás, végrehajtás, regisztrátumok felvétele)

Számpéldák megoldása

Tevékenység begyakorlása

Bemutató

7. Kiértékelés (jegyzőkönyvek, eredmények összehasonlítása, gyártott darabok vagy gyakorlati fogások értékelése, a látottak összefoglalása)

Kísérletek adatai: próbatetek mérete, anyaga, előállapota, nem mérendő tulajdonságparaméterek, gépek, eszközök adatai stb.

Számpéldák és helyes megoldásuk

Begyakorlandó tevékenység paraméterei, eszközszükséglete

Bemutatandó objektumok és folyamatok kiegészítő információi

A tantermi és a laboratóriumi gyakorlatokra vonatkozóan az előzőekben megfogalmazott tartalmi és formai szempontok egyfajta didaktikai, módszertani útmutatót ad(hat)nak a gépészeti, illetve a mechatronikai szakirányú felsőfokú képzésben részt vállaló oktatóknak. Segíthetik a gyakorlatok tervezését, előkészítését, valamint lebonyolításuk hatékonyabbá tételét.

2. GYAKORLATI PROGRAM, LABORREND, BALESET- ÉS TŰZVÉDELEM

Az ipar különböző területein felhasználásra kerülő anyagoktól – rendeltetésüktől függően – különböző tulajdonságokat követelünk meg. Az anyagvizsgálati laboratóriumban végezzük el az anyagvizsgálatokat, melyeknek során megállapítjuk, hogy ezen anyagok rendelkeznek-e a tőlük megkövetelt tulajdonságokkal. A legfontosabb szerkezeti anyagok tulajdonságait (anyagjellemzőit) szabványok rögzítik. A gyártó és a felhasználó is anyagvizsgálatokkal állapítja meg a szabványban rögzített anyagtulajdonsági követelmények teljesedését. Ugyanakkor az anyag feldolgozása során is fontos szerepe van az anyagvizsgálatoknak. Az anyagvizsgálatok célja lehet továbbá egy technológiai folyamat jószágának igazolása is. Az esetleges anyaghibák kimutatására is az anyagvizsgálati laboratórium hivatott.

Ahhoz, hogy minőségi, pontos és biztonságos méréseket végezhesünk, a vizsgálati eredmények helyes kiértékelése végett szükséges a laboratóriumi munkarendet, szabályokat is ismernünk és alkalmaznunk, valamint, hogy a mérési jegyzőkönyveket is korrektül készítsük el.

2.1. Az anyagvizsgáló laboratórium (munka)rendje

Az anyagtudományi laboratórium a mérések, vizsgálatok és dokumentációs tevékenység helyszíne.

A laboratórium veszélyes munkahely, ezért mindenkinek tisztában kell lennie a gyakorlatokhoz kapcsolódó biztonsági rendszabályokkal.

Az első gyakorlaton a balesetvédelmi oktatás és a követelményrendszer ismertetése történik.

A munkaszabályok ismerete és betartása egyaránt kötelessége a gyakorlatvezetőnek, a laboránsnak és a hallgatónak. Ezek ismertetése és tudomásvétele jogi vonatkozású kötelezettséget jelent, amelyre a hallgató aláírásával elkötelezi magát, és ennek megfelelően felelősége tudatában kell cselekednie (az Egyéni „munkavédelmi” nyilvántartó lap = Fişa de protecþia muncii).

2.1.1. Alapszabályok a laboratóriumi munka végzéséhez

1. A laboratóriumban csak azok a személyek (hallgatók) dolgozhatnak, akik ismerik és betartják a laboratóriumi szabályzatot, valamint a munkavédelmi előírásokat, s ezt aláírásukkal tanúsították.
2. A laboratóriumban mérés végzése céljából egyedül senki nem tartózkodhat.
3. A hallgatók kötelesek felkészülni a mérés elméleti és gyakorlati anyagából. A felkészületlen tanulót a gyakorlatvezető a gyakorlatból kizárhatja.
4. A mérési gyakorlatokat a hallgatók önállóan, párosan vagy csoportosan végzik. Utóbbi esetben a gyakorlatvezető jelöli ki a mérési csoport vezetőjét.
5. A gyakorlatokon viselt öltözet legyen egyszerű, ne legyenek rajta a munkát zavaró kiálló, lebegő részek. Manuális munka közben ékszer (gyűrű, karkötő, lánc stb.) viselete mellőzendő. A hosszú hajat össze kell fogni.
6. A laborban fegyelmezetten kell viselkedni, a figyelmet a kísérleti munkára kell összpontosítani, mások figyelmét feleslegesen nem szabad elvonni. Csak olyan berendezéssel dolgozzunk, melynek működésével tisztában vagyunk. Ne nyúljunk olyan berendezésekhez, melyek nem tartoznak az aznapi kísérleti elrendezéshez. Kérjük az oktatószemélyzet segítségét minden olyan esetben, amikor ezt a gyakorlati jegyzet előírja, illetve ha bármilyen komplikáció támad munkánk közben.
7. Tartsuk a munkahelyünket rendben. Minden munkafázis után rakjunk rendet. Éles eszközök, üvegtárgyak stb. használata esetén legyünk óvatosak.
8. A laboratóriumba csak a méréshez szükséges eszközöket (írószert, rajzeszközöket, számológépet, füzetet, jegyzőkönyvi űrlapot) lehet bevinni. A laboratóriumban étel és ital fogyasztása tilos!
9. A laboratóriumi eszközöket a legnagyobb gonddal használjuk, megőrizve ezek hosszú távon való jó működési állapotát.
10. A mérések során a tisztasági előírásokat be kell tartani.
11. A munka természetének megfelelő munkaruhát viseljük, és óvjuk ruházatunk és testünk épségét. A sajátos körülmények között végzendő munka esetén alapvetően fontos a munkavédelmi eszközök használata (védőszemüveg, kesztyű, munkaruha stb.).
12. A laboratóriumi munka ideje alatt mindvégig szigorú fegyelem és rend szükséges.
13. Elektromos feszültség alatt levő berendezések használata esetén elemi

szabályként ismerni kell ezek veszélyességét, és a használati utasítások szigorú betartásával minden nemkívánatos eseményt teljesen ki kell zárni.

14. A hallgató nem végezhet hibaelhárítási feladatot az elektromos hálózatban vagy elektromos energiával működtetett készülékekben.
15. A műszerekkel kapcsolatos bármilyen rendellenességet a gyakorlatvezetőnek azonnal jelezni kell.
16. A műszerek és berendezési tárgyak gondatlan használatából eredő károkért a mérést végzők anyagilag felelősek.
17. A mérés befejezése után a munkadarabokat és a mérőeszközöket a kijelölt tárolóhelyre vissza kell helyezni.

2.1.2. A gyakorlaton részt vevő hallgató kötelezettségei

1. Egészsége és testi épsége érdekében a hallgató köteles a gyakorlati oktatáson a feladat ellátására alkalmas állapotban és ruházatban megjelenni.
2. A feladatra alkalmas állapot kizárja alkohol, kábítószer és gyógyszer – kivéve orvosi kezelés, betegség miatt szakorvos által felírt gyógyszer – fogyasztását.
3. A gyakorlati oktatás folyamán csak olyan tevékenységet folytathat, amelyhez a gyakorlat vezetője hozzájárult, és a hallgató rendelkezik a feladat ellátásához szükséges munka- és tűzvédelmi ismeretekkel.
4. A gyakorlati oktatás folyamán a munkaterületen rendet és fegyelmet tart.
5. Védőfelszerelést használ, amennyiben az elő van írva.
6. A gyakorlati oktatás folyamán a legkisebb sérülést, rosszulletet, megbetegedést a gyakorlat vezetőjének azonnal jelenti.
7. A gyakorlati munka közben észlelt veszélyeket lehetősége szerint megszünteti vagy ez irányú intézkedéseket tesz.
8. Gyakorlati foglalkozás közben munkáját elvárható gondossággal, a munkájára vonatkozó szabályok, előírások és utasítások szerint végzi.
9. A kijelölt dohányzóhelyeken kívüli dohányzást mellőzi.
10. A helyszínen és környékén (park, autóparkoló stb.) égő cigarettacsikket, egyéb éghető anyagot csak a kihelyezett hulladékgyűjtőkbe helyezi.
11. Hallgatótársaival együttműködik, és munkáját úgy végzi, hogy azzal más egészségét és testi épségét ne veszélyeztesse.
12. A laboratórium területén (épület, szabad terek) található berendezések, eszközök, gépek állagát megóvjá. Káresemény bekövetkezésekor a személyes felelősség megállapítása után az okozott kárt megtéríti.

13. A gyakorlatvezetők által ismertetett biztonsági szabályokat, utasításokat betartja.
14. A hulladékot a kijelölt hulladéktárolókba rakja.
15. Mobil eszközeit lehalkítja, kikapcsolja a gyakorlat időtartamára.

2.2. Általános laboratóriumi baleset- és tűzvédelmi előírások

2.2.1. Balesetvédelmi előírások

1. A laboratóriumban kellő körültekintéssel, fegyelmezetten kell dolgozni és viselkedni.
2. A laboratórium használata során a legnagyobb gonddal, a személy- és vagyonbiztonság figyelembevételével, ill. kellő elővigyázatossággal kell eljárni.
3. A hallgatók a laboratóriumban csak tanári felügyelettel tartózkodhatnak, és csak a kijelölt és bemutatott műszerekkel dolgozhatnak.
4. A biztonságos munkavégzés érdekében a laboratóriumban a méréstől független személy nem tartózkodhat, a munkát nem zavarhatja.
5. Ne torlaszolja el a kijáratot, sem pedig az asztalok közötti teret, veszélyhelyzet esetén ez a menekülést nehezíti. Csak a szükséges felszerelést hozzuk a laborba. Ne pakoljanak táskákat az asztalokra, mert megnehezíti a munkát, és esetleg károsodhat.
6. A mérési összeállításokat használat előtt ellenőrizni kell, elektromos kapcsolás esetén a kapcsolás kizárólag a gyakorlatvezető ellenőrzése után helyezhető feszültség alá.
7. A nagyfeszültségű kapcsolószekrényt csak a gyakorlatvezető nyithatja ki. Mindennemű készülék feszültség alá helyezéséhez a gyakorlatvezető engedélye szükséges.
8. Igen sokféle elektromos berendezés található a laboratóriumban, ezek a hazai és nemzetközi érintésvédelmi előírásoknak megfelelnek. A berendezések hálózatba való bekötését és bekapcsolását a műszaki személyzet végzi. Ne nyúlunk elektromos berendezésekhez nedves kézzel, ne érintsünk elektromos berendezéseket és földelt tárgyakat egyszerre. A padló, melyen az elektromos berendezések kezelése közben állunk, legyen száraz!
9. Az elektromos és forgó berendezések használatakor fokozott elővigyázatossággal kell eljárni. Berendezések forgó részei csak burkolattal működhetnek.

2. Gyakorlati program, laborrend, baleset- és tűzvédelem

10. Meghibásodott gépeket, műszereket szétszerelni feszültségmentesítés után sem szabad, az a megfelelő szakszemélyzet feladata.
11. A vegyszereket és műszereket tartalmazó szekrényeket csak a gyakorlatvezető nyithatja ki.
12. A gázcsapokat kizárólag a gyakorlatvezető, illetve a laboráns kezelheti.
13. A munka befejezésekor a laboratórium bezárása előtt győződjünk meg arról, hogy minden közművezeték, a munkahelyekhez tartozó víz-, gáz-, vákuum- stb. csapokat, majd a főelzárócsapokat elzártuk, az ablakokat becsuktuk, és az elektromos berendezéseket kikapcsoltuk (áramtalanítottuk)!
14. Áramütéses baleset vagy egyéb veszély esetén a berendezéseket először feszültségmentesíteni kell a főkapcsoló vagy a vészkapcsoló kikapcsolásával.
15. Ne feledkezzünk meg arról, hogy az érvényes munkavédelmi előírások kötelezővé teszik, hogy az oktatószemélyzetnek azonnal jelentsük, bármiféle sérülést szenvedtünk a labormunka során.
16. Ha valakit baleset ér, azonnal jelentsék a gyakorlatvezetőnek. Baleset körülményeinek és következményeinek gyors elemzése után tegyünk meg az elsősegélynyújtási feladatokat:
 - a veszélyforrás megszüntetése: feszültségmentesítés, energiaellátó tápvezetékek lezárása (gáz, villany, magasnyomású vezetékek stb.);
 - szabad kijárás és gyors távozási lehetőség megteremtésére, illetve a terem szellőztetése által az eseménysorozat további negatív következményeinek csökkentésére kell törekedni;
 - a sérült személy eltávolítása a baleset helyszínéről és sérülési állapotának megfelelő kezelés biztosítása (mesterséges lélegeztetés, vérzés csillapítása, orvosi szakszemélyzet helyszínre hívása, illetve a sérült kórházba szállítása által) alapvető fontosságú.
17. A laboratóriumot a hallgatók csak abban az esetben hagyhatják el, ha a mérésekhez használt valamennyi eszközt a gyakorlatvezető által kijelölt helyre visszatették.
18. További munkavédelmi előírások találhatók a gyakorlati helyszíneken; ezek az egyes kísérletekkel kapcsolatosak. A hallgatók kötelesek figyelembe venni az oktató-felügyelő személyzet munkavédelmi instrukcióit.

2.2.2. Tűzvédelmi előírások

1. A laboratóriumban dohányozni tilos!
2. Kabátokat és táskákat az erre kijelölt helyre kell helyezni!
3. A kijáratot és az oda vezető utat még ideiglenesen sem szabad eltorlaszolni.
4. Fűtőtestekre, gázcsövekre vagy ezek mellé – fűtőtesteknél 30, gázcsöveknél 10 cm távolságon belül – tilos gyúlékony anyagot rakni.
5. Tűz esetén a helyiséget gyorsan és fegyelmezetten kell elhagyni, utána a rendelkezésre álló eszközökkel (poroltó) az oltást meg kell kezdeni.
6. Az olyan laboratóriumok, ahol olajjal működő berendezések vannak, fokozottan tűzveszélyesek, ezért a tűzvédelmi előírásokat kiemelten be kell tartani.
7. Esetleges tűz esetén azonnal értesíteni kell a tűzoltóságot, és ha az a személybiztonságot nem veszélyezteti, meg kell kezdeni a tűz oltását a laboratóriumban elhelyezett tűzoltókészülékkel. Villamos tüzet vízzel oltani tilos!
8. A tűzoltóságot még az eloltott tűzről is értesíteni kell.

Tűz esetén szükséges teendők

Tűzjelzés

Abban az esetben, ha tüzet vagy annak közvetlen veszélyét észleljük, vagy ezekről tudomást szerzünk, azonnal jelenteni kell: a gyakorlat vezetőjének, a helyszín legközelebbi portaszolgálatán, indokolt esetben telefonon a tűzoltóság központnak.

A tűzjelzésnek tartalmaznia kell:

- a tüzeset pontos helyét, az intézmény címét (utca, épület, színt, helység),
- a tűz kiterjedését, az égő anyagok fajtáját,
- információt a veszélyeztetett személyekről,
- további veszélyhelyzet kialakulásának lehetőségét,
- a jelzést adó nevét és a használt telefon számát.

Kiürítés

A tűz által érintett épületrészek kiürítését és oltását haladéktalanul meg kell kezdeni. A kiürítést az épületek körüli területekre, illetve belső udvarra szükséges végrehajtani.

Laboratóriumi tűz esetén a tennivalók sorrendje a következő:

- emberélet mentése,
- tűzjelzés, riasztás, kiürítés,
- gázcsap elzárása, éghető anyag eltávolítása,
- tűzoltás megkezdése.

2.3. Laboratóriumi mérés/vizsgálat jegyzőkönyve

A jegyzőkönyv olyan dokumentum, melyben minden lényeges mérési és észlelési információt – amihez munkája során hozzájutott – rögzít a mérést/vizsgálatot végző személy. A vizsgálati eredmények között fel kell sorolni minden olyan körülményt, amely később lényegessé válhat (pl. amikor a mérési szituáció már megismételhetetlen, rekonstruálhatatlan, a vizsgálati anyagok megsemmisültek, esetleg a műszereket javították, átállították).

A szakmai életben használandó jegyzőkönyvekhez hasonló, de didaktikai jellegűt készítünk, mellyel hozzászoktatható a hallgató a vizsgálatok menetének/kiértékelésének pontos dokumentációs leírásához, ugyanakkor e tevékenység a tananyag jobb elsajátítására/rögzítésére is alkalmas.

A gyakorlatokon s ezáltal a mérési jegyzőkönyv elkészítésében is csak megfelelően felkészült hallgatók vehetnek részt.

Az előző gyakorlati foglalkozásokon előre ismertetett tematika alapján kell előkészíteni/elvégezni a feladatokat. Erre kell felkészülni, előkészítve a megfelelő jegyzőkönyvet is.

A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell a méréshez/kísérlethez szükséges alapfogalmakat, a műveletek leírását, a méréshez használt eszközöket, a kapott eredményeket stb. Célszerű a méréshez szükséges táblázatokat is előre elkészíteni.

A mérési jegyzőkönyv elkészítésének szempontjai:

A jegyzőkönyvnek a következőket kell tartalmaznia:

- azonosító adatok (név, tanulmányi csoport);
- a mérés időpontja, helyszíne (intézmény, laboratórium, dátum);
- a mérés elméleti alátámasztása (röviden, lényegre törően);
- a mérésnél felhasznált eszközök, berendezések (mérőeszközök, etalonok, vizsgált anyagok) azonosítható felsorolása;
- a mérés menete, a tevékenységek sorrendje, a mérési elrendezés ismertetése;

- a mérési eredmények táblázatai (indokolt esetben bővíthető a számítási eredmények rovataival);
- a számítások módja és eredménye;
- az eredmények kiértékelése (elemzés, észrevételek, megjegyzések).

A számításokhoz felhasznált adatok forrását közölni kell.

A jegyzőkönyv az alábbi hibák miatt elmarasztható:

- hiányzik a jegyzőkönyv valamelyik része (nincsenek kitöltve az azonosító adatai);
- tévedés az alkalmazott műszert illetően vagy a vizsgált anyag vonatkozásában;
- nem logikus vagy hiányos okfejtés a mérés leírásában;
- a táblázatok rovatainak elcserélése; pontatlan kitöltése, téves számítás végzése;
- nem megfelelő mértékegység használata.

A laboratóriumi mérések/vizsgálatok jegyzőkönyvének sikeres elkészítéséhez tisztában kell lenni az elméleti háttérrel, a gyakorlat pontos menetével, a berendezések működésével, s az elvégzett kísérlet eredményeit is ki kell tudni értékelni.

Ugyanakkor a mérés/vizsgálat pontos végzése is nagyon fontos, hisz a hiteles eredmények alapfeltétele. A laboratóriumi munkálatok megkönnyítéséhez néhány fogalom/definíció:

- Etalon: egy kísérleti tárgy, amely hasonló a mérendőhöz, s pontosan ismerjük a jellemzőit, összehasonlításként használandó.
- Hitelesítés: a mérőeszköz beállítása etalon segítségével arra az értékre, amely annak a mérési értéknek megfelel.
- Nullázás: a mérőeszköz nulla értékre való beállítása.
- Valódi érték: a mért mennyiség valóságos értéke, amelyet mérési eljárásunkkal csak megközelíteni tudunk, de pontosan nem ismerünk.
- Várható érték: a mérés alapján kapott (statisztikai) eredmény, amelyről feltételezzük, hogy a valódi érték lehető legjobb műszaki becslése.
- Korrekció: a hitelesítésnél nyert eltérés, amelyet mérési eredményünkkel együtt közölve megkapjuk a hiteles eredményt.

A mérési jegyzőkönyv összeállításához további ajánlások:

- Mért érték megadása: olyan prefixumot vagy tízes hatványkitevőt választunk, hogy a szám értékes része 0,1 és 999 közé essék.
- Táblázatban ne végezzünk átszámítást, kerekítést vagy aritmetikai művele-

- tet. Minden rovatban csak egy szám állhat. A fejlécbe ne írjunk összefüggést!
- Grafikonok készítése: a koordinátatengelyek mellett tüntessük fel az ábrázolt mennyiség nevét vagy jelét és a mértékegységét.
 - Ha az ábrázolt grafikon fizikai tartalmat fejez ki, folytonos vonallal rajzoljunk közelítő függvényt a ponthalmazra.
 - A koordinátatengelyeken szereplő fizikai mennyiségek között okozati összefüggés van. Vegyük fel a vízszintes tengelyre a független változót, illetve azt a mennyiséget, amelyet tervszerűen változtattunk a kísérlet során. A függőleges tengelyen a függő változót tüntessük fel.

Mérési jegyzőkönyvek formai és tartalmi követelményei tehát:

1. Mérőcsoport száma és a csoporttagok neve, intézmény.
2. Mérés időpontja (dátum, idő).
3. A feladat/mérés rövid leírása (a kiküldött feladatlapok alapján).
4. A mérési összeállítás sematikus (szemléltető) ábrája és a méréshez felhasznált eszköz(ök) felsorolása.
5. A mérés menete, ábrákkal (képernyőképekkel) és a kiadott utasításokkal kiegészítve.
6. Mért és számított eredmények, valamint ezek értelmezése, a mérésből levonható következtetések.
7. Jegyzőkönyv készítésének időpontja (dátum), aláírás.

A laboratóriumi mérési jegyzőkönyv egy lehetséges szerkezeti mintáját mutatja be a **2.1. ábra**.

| LABORATÓRIUMI (MÉRÉSI) JEGYZŐKÖNYV | |
|--|-----------------|
| Név(ek): <i>a mérést végző személy(ek) neve</i> Tanulókör/Csoport: A mérés helye: <i>intézmény, laboratórium</i> | AZONOSÍTÓ |
| A mérés ideje: <i>dátum</i> A mérési jegyzőkönyv leadásának határideje: <i>dátum</i> A mérés helye: <i>intézmény, laboratórium</i> | KELTEZÉS |
| A mérés tárgya: A mérési célja: Elméleti összefoglaló: | CÉL, TÉMA |
| A méréshez használt eszközök, műszerek: A mérés menete, vázlata: (Mérési feladatok) Mérési számítások diagramok: | MÉRÉS/VIZSGÁLAT |
| A mérés értékelése: | KÖVETKEZTETÉS |
| A gyakorlat értékelése: | ÉRTÉKELÉS |
| Gyakorlatvezető neve: | |

2.1. ábra

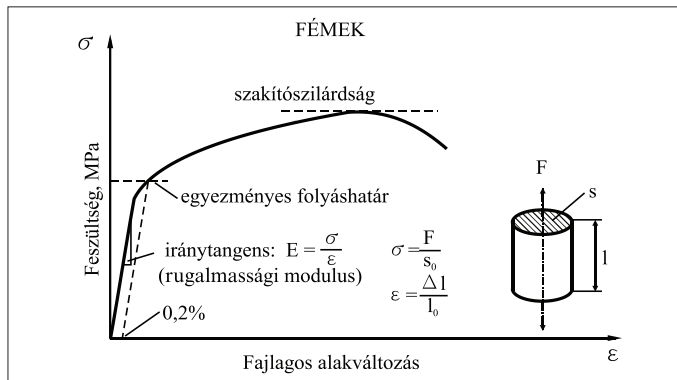
Laboratóriumi (mérési) jegyzőkönyv szerkezete

3. SZAKÍTÓVIZSGÁLAT ÉS KIÉRTÉKELÉSE

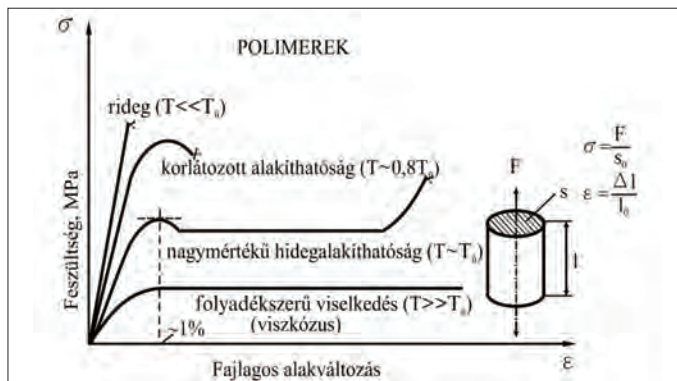
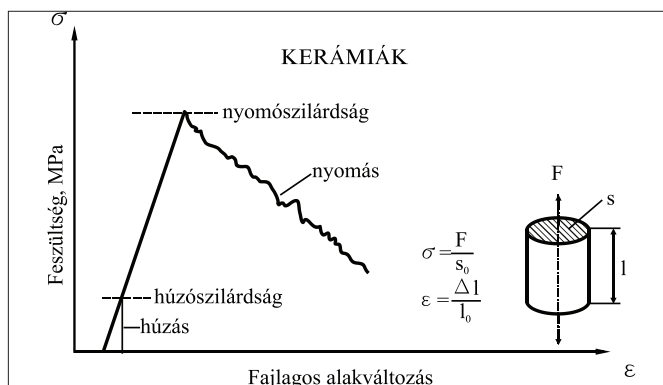
A szilárdság az anyagok mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállásának célszerűen definiált mértéke, ami a szilárdságra (képlékeny alakváltozás határához tartozó megengedett feszültségre) történő méretezéskor, illetve ellenőrzéskor vehető számításba:

- Fémek esetében az egytengelyű axiális húzóterheléssel felvett feszültség-alakváltozás görbéből, többnyire a lineárisan rugalmas vonaltól 0,2% maradó alakváltozásnyira kijelölhető feszültség (**3.1/a. ábra**), ami húzásra és nyomásra közel megegyezik.
- Polimerek esetében az a mechanikai feszültség, amelynél a feszültség-alakváltozás görbe határozottan nemlineárisává válik (**3.1/b. ábra**). Ez tipikusan az 1% alakváltozáshoz rendelhető. Itt „nyírófolyás”, azaz molekulaláncok irreverzibilis csúszása vagy „hajszálrepedezés”, azaz repedésvonalak kiterjedése és szétszóródása (fehéredéssel kísérve) következik be. Polimerek nyomásra kb. 20%-kal erősebbek, mint húzásra.
- Finomkerámiák és üvegek esetében a szilárdság erősen függ a terhelés módjától. Ridegségük miatt húzásra egyfajta „törőszilárdság”, nyomásra pedig „zúzószilárdság” határozható meg (**3.1/c. ábra**). Ez utóbbi kb. 12-15-ször nagyobb az előzőnél.
- Kompozitok esetében a (szakító)szilárdság legjobban a lineárisan rugalmas viselkedéstől való eltérés révén definiálható, kb. 0,5%-os alakváltozási mértéknél. Azok a kompozitok, melyek szálakat tartalmaznak, mintegy 30%-kal gyengébbek nyomásra, mint húzásra, mert a szálak kihajlanak, illetve megtörnek.

A szilárdságra történő méretezéskor, avagy ellenőrzéskor az anyag R szilárdságából és valamely egynél nagyobb számértékű biztonsági tényezőtől (b) képezett hányados adja az ún. megengedett feszültséget. Ezt viszonyítjuk a várhatóan fellépő maximális terhelés (F erő, M nyomaték), illetve a makroszerkezeti szelvény alakjellemezője (A keresztmetszet vagy K keresztmetszeti tényező) alap-

**3.1/a. ábra**

Anyagok szilárdságának értelmezése (fémek)

**3.1/b. ábra**Anyagok szilárdságának értelmezése (polimerek) (T_ü : üvegesedési hőmérséklet)**3.1/c. ábra**

Anyagok szilárdságának értelmezése (kerámiák)

ján felírható σ mechanikai feszültséghez. Ennek kisebbnek kell lennie a megengedett feszültségnél, vagy határesetben is csak egyenlő lehet azzal. Átrendezés után adódik a minimálisan szükséges alakjellemző számértéke:

$$\text{alakjellemző} \geq \frac{\text{terhelés}_{\max} \times \text{biztonsági tényező}}{\text{szilárdság}}.$$

$$\text{Pl. húzásra: } A \geq \frac{F \cdot b}{R}, \text{ hajlításra: } K \geq \frac{M \cdot b}{R}, \text{ csavarásra: } K_p \geq \frac{M_{cs} \cdot b}{R}.$$

A duktilitás (képlékenység) az anyagvizsgálati próbatestek eredeti állapotra vonatkoztatott maradó hosszváltozásával és/vagy maradó keresztmetszet-változásával jellemezhető.

3.1. Statikus szilárdsági vizsgálatok célja, felosztása

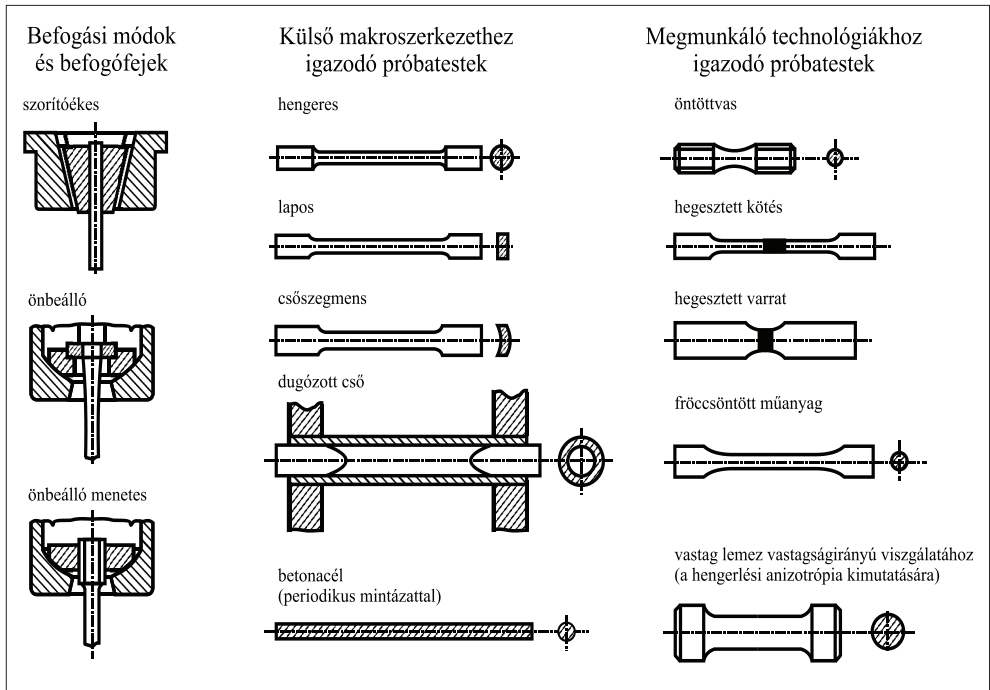
A szilárdsági vizsgálatok – alkalmasan kialakított próbatestekkel – a mechanikai igénybevételeket (húzás, nyomás, hajlítás, nyírás, csavarás) kvázistatikus (kis alakítási sebességgel) modellezzik, ezért a feszültség-alakváltozás függvénykapcsolat (a vizsgálat diagramregisztrátuma) gyakorlatilag időfüggetlen. Mechanikai anyagjellemzők meghatározása céljából rendszerint az egytengelyű húzóigénybevételt modellező szakítóvizsgálat elvégzése a legcélszerűbb, amit a következők indokolnak:

- nyomással – a kihajlási veszély miatt – csak nagyon rövid próbatestek vizsgálhatók, továbbá a nyomólapon fellépő súrlódás befolyásolja a mérést;
- hajlításnál és csavarásnál nem egyenletes a feszültségeloszlás, azaz a maximális feszültség a próbatest felületén alakul ki, ezért a próbatestgyártásra (felületminőségre) érzékeny a vizsgálat;
- nyírás tiszta formában nehezen valósítható meg, gyakorlatilag mindig fellép egyidejű járulékos hajlítás is.

A felsoroltak alapján nyomó- és hajlítóvizsgálattal rideg, húzószilárdságuknál sokkal nagyobb nyomószilárdságú anyagokat (pl. öntöttvasak, kerámiák), csavaró-, illetve nyíróvizsgálattal pedig kifejezetten ilyen igénybevételű termékeket (pl. torziós rugó, illetve szegecs) vizsgálnak.

3.2. Szakítóvizsgálati próbatestek kialakítása, előkészítése

A szakítóvizsgálatot az adott anyagból kimunkált, annak külső makrogeometriájához vagy megmunkáló technológiájához igazodó alakú, szakítógépbe befogható fejkiképzésű próbatesteken (3.2. ábra) végzik. Vizsgálat előtt a henge-



3.2. ábra

Szakítóvizsgálati próbatestek

res próbatest d_0 átmérőjű $S_0 = d_0^2 \cdot \pi / 4$ egyenletes keresztmetszetű szakaszára – a megnyúlás méréséhez – $L_0 = 5 \cdot d_0$ vagy $L_0 = 10 \cdot d_0$ jeltávolságot kell jelölni.

Lemezek vizsgálatára lapos próbatesteket használnak, amelyek $S_0 = a_0 \cdot b_0$ keresztmetszetéből kiszámítanak egy de egyenértékű átmérőt:

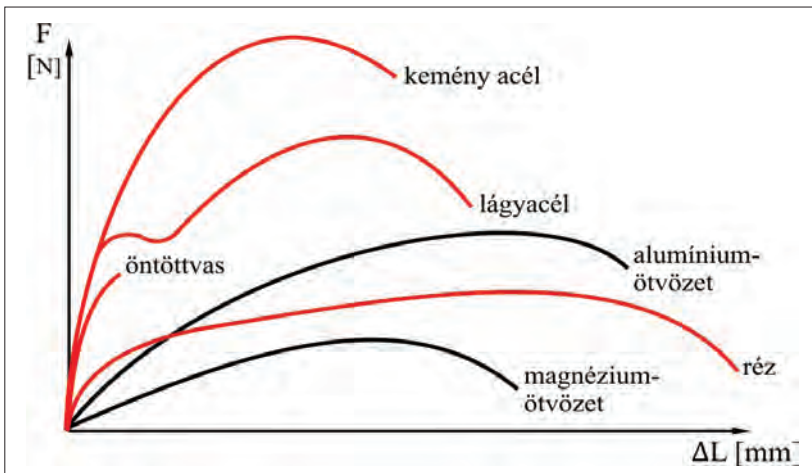
$$a_0 \cdot b_0 = d_e^2 \cdot \pi / 4 \rightarrow d_e = (4 \cdot a_0 \cdot b_0 / \pi)^{1/2} = 1,13 \cdot (a_0 \cdot b_0)^{1/2}.$$

Ezzel az arányos próbatest jeltávolsága: $L_0 = 5 \cdot d_e = 5,65 \cdot (a_0 \cdot b_0)^{1/2}$ vagy

$$L_0 = 10 \cdot d_e = 11,3 \cdot (a_0 \cdot b_0)^{1/2}.$$

3.3. Szakítóvizsgálat elvégzése

Az alkalmas méréshatárú szakítógépbe befogott próbatest húzáskor először rugalmasan, majd képlékenyen – de egyenletesen – megnyúlik, végül (ha kellően nagy alakváltozó-képességű) helyi keresztmetszet-csökkenést (kontrakciót) követően elszakad. Az L_0 eredeti jeltávolság L_u -ra nő, az S_0 eredeti keresztmetszet pedig – a szakadás helyén – S_u -ra csökken (3.3. ábra).



3.5. ábra

Néhány fém és ötvözet szakítódiaagramja

A szakítóvizsgálat során szakítódiaagramot vesznek fel (3.4. ábra), azaz nyúlás-erő (ΔL – F) függvényt regisztrálnak, melyben a vizsgálat bármely pontjához tartozó összes nyúlás két részre bontható: rugalmas és maradó nyúlásra (3.4/a. ábra).

A szakítódiaagram alakja az anyag minősége szerint változik (3.5. ábra).

3.4. Szakítóvizsgálatból nyert adatok értelmezése, kiértékelése

A szakítódiaagram adataiból (F_{eH} vagy $F_{p0,2}$, F_m , F_u), továbbá a próbatest vizsgálat előtti (d_0 vagy a_0 , b_0 , illetve S_0 , L_0) és utáni (d_u vagy a_u , b_u , illetve S_u , L_u) méreteiből számíthatók a többnyire szabványos anyagminősítő jellemzők:

- (kifejezett) folyáshatár: folyási jelenséggel (feszültségstagnálás melletti képlékeny alakváltozással) rendelkező anyagok esetében a képlékeny folyás megindulásához (elasztikus állapot határához) tartozó (felső \equiv High) erőből (3.4/a. ábra) számítható feszültség:

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right];$$

- egyezményes folyáshatár: folyási jelenséggel (kifejezett folyáshatárral) nem rendelkező anyagok esetében a 0,2% maradó (plasztikus) alakváltozáshoz tartozó erőből (3.4/b. ábra) számítható feszültség:

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right];$$

- szakítószilárdság: a maximális erő (**3.4. ábra**) és az eredeti keresztmetszet hányadosaként számított feszültség:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right];$$

- fajlagos (szakadási) nyúlás: a próbatest szakadáskori – L_0 jeltávolságtól függő – százalékos hosszváltozása, melynek indexe jelzi, hogy az L_0 jeltávolság a próbatest átmérő (d_0) hányszorosa ($L_0 = 5 \cdot d_0$ vagy $L_0 = 10 \cdot d_0$, **3.3. ábra**):

$$A_5 \text{ vagy } A_{10} = \frac{L_u - L_0}{L_0} 100\%;$$

- fajlagos keresztmetszet-csökkenés vagy kontrakció: a próbatest szakadáskori százalékos keresztmetszet-változása:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\%.$$

Az ún. valódi (vagy logaritmikus) alakváltozás a

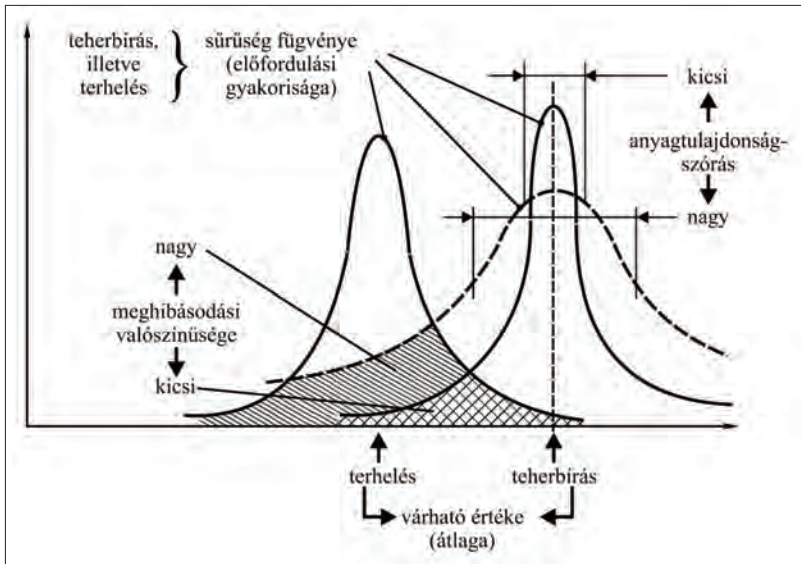
$$\varphi_i = \ln \frac{L_i}{L_0} = \ln \frac{S_0}{S_i} = 2 \cdot \ln \frac{d_0}{d_i}$$

formulával számítható, amit elsősorban a képlékeny alakító technológiák tervezéséhez, folyásgörbék felvételéhez használnak.

Ahhoz, hogy a különböző helyeken, illetve időpontokban elvégzett szakítóvizsgálatok eredményei összevethetők legyenek egymással, az anyagviselkedést befolyásoló külső állapothatározók (hőmérséklet, alakítási sebesség, feszültségállapot) mérés kori azonosságát biztosítani kell.

Az anyagminősítő, anyagtulajdonságokat meghatározó vizsgálatok, mérések során szisztematikus (mérőeszköz vagy mérőszemélyzet miatti) és véletlen (vizsgált anyagmintákból eredő) hibák adódhatnak. Ezért a mérési adatok megbízhatósága érdekében több mérés és azok statisztikai kiértékelése célszerű, sőt sok esetben szükséges. Azonban a statisztikai várható érték (átlag) akkor tekinthető megbízható adatnak, ha az viszonylag kis szórást (különbségeket) mutató eredménygyakoriságból, illetve -eloszlásból származik.

A **3.6. ábra** mechanikai terhelési esetre mutatja a teherbírás (szilárdság) szórásának hatását a meghibásodás valószínűségére. Látható, hogy két azonos szilárdságátlagot szavatoló anyagbeszállító közül azt célszerű választani, amelyik



3.6. ábra

Szilárdság szórásának hatása a meghibásodás valószínűségére

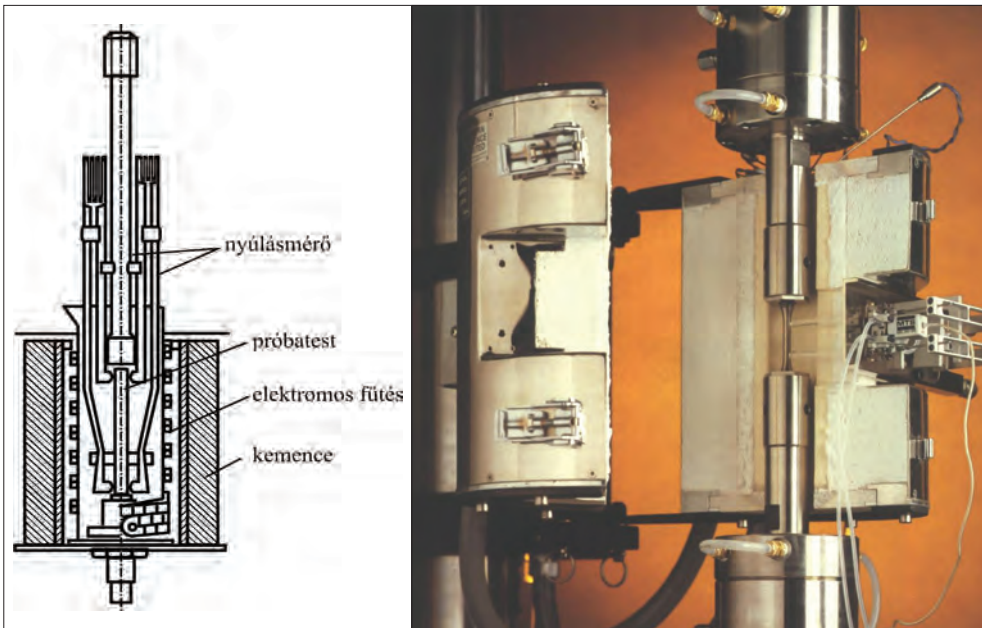
kisebb tulajdonságszórású anyagot képes folyamatosan rendelkezésre bocsátani, mert ezzel kisebb biztonsági tényező (ezzel együtt kisebb önsúly, illetve anyagfelhasználás) esetén is kicsi marad egy esetleges meghibásodás valószínűsége.

3.5. Szakítóvizsgálat nagy hőmérsékleten

Az anyagok mechanikai tulajdonságait a hőmérséklet is jelentősen befolyásolja. Bizonyos hőmérsékleten megváltozik az anyag szerkezete, ezáltal a mechanikai tulajdonságai is, ezért célszerű az anyagvizsgálatokat abban a környezetben (hőmérsékleten) végezni, amelyben majd üzemel az alkatrész.

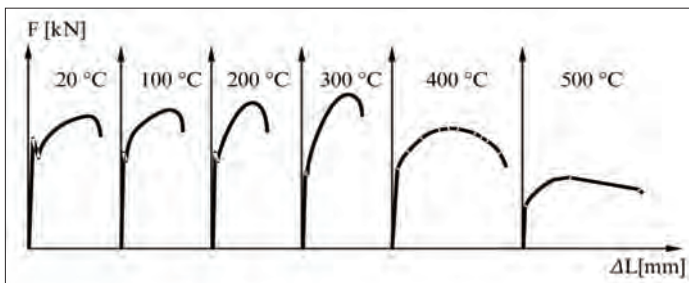
Nagy hőmérsékleten a szakítóvizsgálatot ehhez kialakított berendezéssel végezzük (3.7. ábra). A nyúlásmérő rendszer próbatestet befogó része is a kemencében van elhelyezve, melynek hőmérsékletét szabályozni, illetve mérni lehet.

A hőmérséklet növekedésével csökken a fémek folyáshatára, viszont nő a nyúlás és a kontrakció (3.8. ábra). Például egy nagy szilárdságú acél nagy hőmérsékleten úgy viselkedik, mint az ólom vagy az ón normál hőmérsékleten. Ez azt jelenti, hogy a próbatest viszonylag kicsi, állandó húzó igénybevételnél a szakadás bekövetkezése előtt még nyúlik.



3.7. ábra

Nagy hőmérsékleten végzett szakítóvizsgálat berendezése

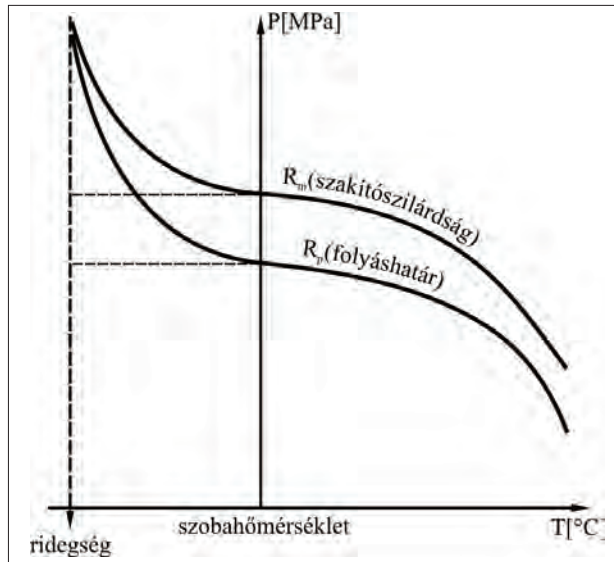


3.8. ábra

Lágyacél szakítódiagramjai különböző hőmérsékleten

3.6. Szakítóvizsgálat kis hőmérsékleten

Kis hőmérsékleten a fémek ellentétesen viselkednek, mint nagy hőmérsékleten. A szilárdságuk nő (3.9. ábra), viszont a nyúlásuk és szívósságuk csökken. Alacsony hőmérsékleten végzett vizsgálatok szükségesek például a -50 °C környezeti hőmérsékleten működő gépjárművekhez vagy a -180 °C -ot is elérő hőmérsékleten működő kompresszorokhoz és szivattyúkhoz használt anyagoknál.



3.9. ábra

A szakítószilárdság hőmérsékletfüggése

3.7. Nyomóvizsgálat

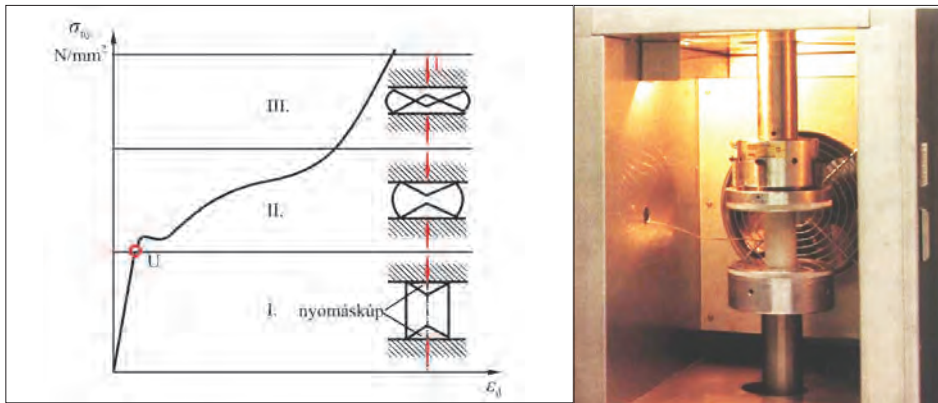
A nyomóvizsgálatot acéloknál kevésbé használják, mivel a szakítási, illetve a nyomási arányossági és folyási határ értékei megközelítőleg egyenlők. Nyomóvizsgálatot többnyire csapágyfémek, öntöttvas, rétegelt műanyagok, kerámiaanyagok, építőanyagok esetében alkalmaznak. Képlékeny anyagoknál nyomással nem lehet törést elérni, ezáltal a nyomószilárdság nem határozható meg korrektül.

A nyomóvizsgálatnál használt próbatest 10-30 mm átmérőjű henger. Általános vizsgálatoknál a henger átmérőjének (d) értéke megegyezik a magasságával (h). Pontos mérésekhez $h = (2,5-3) \cdot d$ magasságot célszerű alkalmazni. A kő és beton nyomóvizsgálat-próbatestek kocka (esetleg henger) alakúak.

A lágyacélból készült próbatest nyomási alakváltozásának folyamatát tükrözi a 3.10. ábra.

- I. Kezdeti szakaszban a feszültségi görbe meredek, az anyag ellenáll a nyomásnak, úgynevezett nyomáskúpok alakulnak ki.
- II. A következő szakaszban a próbatest tömege a kúpfelületeken enyhén oldalra csúszik, ez a diagramban a feszültségnek az alakváltozáshoz viszonyított kisebb növekedésében mutatkozik.

3. Szakítóvizsgálat és kiértékelése



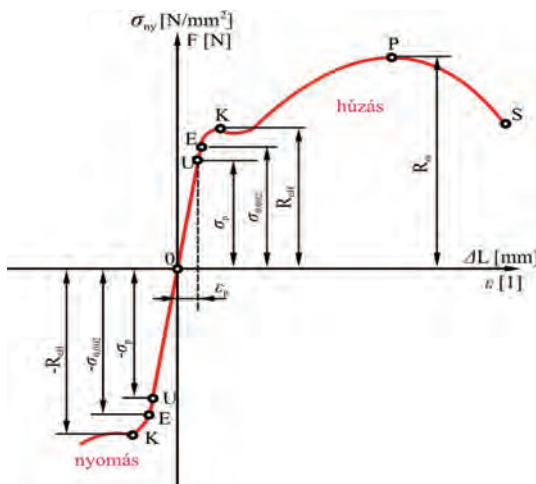
3.10. ábra

Lágyacél nyomóvizsgálatának diagramja és berendezése

III. A harmadik szakaszban a nyomáskúpok kezdenek egymáshoz közzel kerülni, az összenyomással szembeni ellenállás megnő, ezáltal a nyomásgörbe ismét meredek lesz. Jellegzetes, hogy ebbe a szakaszba a vizsgálat során már nem jutunk el, a rideg anyagok képlékeny deformáció nélkül eltörnek. A nyomóvizsgálatnál – akár csak a szakítóvizsgálatnál – megszerkesztjük a $(-\varepsilon) - (-\sigma)$ diagramot (3.11. ábra), és meghatározhatjuk a nyomószilárdságot (nyomószilárdsági határt), a teljes rövidülést (összenyomást), a fajlagos rövidülést.

A nyomószilárdságot – mint a szakítószilárdságnál – a terhelőerő és a keresztmetszet hányadosával számíthatjuk ki:

$$R_{mny} = \frac{F_{mny}}{S_0} \left[\frac{N}{mm^2} \right].$$



3.11. ábra

Lágyacél szakító- és nyomóvizsgálatának közös diagramja

4. KEMÉNYSÉGMÉRÉS

4.1. A keménységmérések felosztása

A keménységmérés a műszaki gyakorlatban legelterjedtebb anyagvizsgálati módszer. Elterjedését a vizsgálat egyszerűsége, gyorsasága és alacsony költsége tette lehetővé. További előnye, hogy a mérés kis térfogaton is elvégezhető, illetve a számszerűsíthető anyagtulajdonság szoros kapcsolatban áll más anyagjellemzőkkel. A keménység mint a szilárd anyagok tulajdonsága arányos a rugalmassággal, a szilárdsággal, a kopásállósággal; fordítottan arányos a képlékenységével, a szívóssággal, a rezgéscsillapító-képességgel.

Az első feljegyzett (Reaumur, 1772) vizsgálati eljárások a karcolás révén való összehasonlításra alapultak. Egy rúd felületét – melynek keménysége fokozatosan növekvő – a mérendő anyaggal karcolták meg hosszanti irányban. A keménység mértékét a felületen látható nyom hosszúságával jellemezték. Ugyancsak összehasonlításra alapszik az ásványtan még napjainkban is használatos Mohs-féle módszere (1822), mely 10 fokozatú keménységi skálát feleltetett meg tíz jellegzetes ásványi anyag keménységének (10: a gyémánt 1: a zsírkő). A XIX. század végén jelentek meg a szűrő keménységvizsgálati módszerek, melyek napjainkban is a legelterjedtebbek. Szűrőkeménység-eljárások kialakulása: Hertz (1881), Brinell (1900), Rockwell (1919), Vickers (1925), Knoop (1939).

A gyakorlatban bevált keménységmérő módszerek három jellegzetes csoportra oszthatók:

- **szűrő** (statikus) keménységmérés: a vizsgálandó anyagnál jóval keményebb, ún. szűrőszerszámot nyomnak alkalmasan megválasztott terhelőerővel az anyagba, és a létrejövő lenyomat területéből vagy a benyomódás mélységéből származtatják a keménységi értéket;
- **ejtő** (dinamikus) keménységmérés: a vizsgálandó anyagra ejtett mérőtest visszapattanási magasságából határozható meg a rugalmas ütközés elnyelt energiájával összefüggő keménységi mérőszám;
- **rezgő** keménységmérés: a vizsgálandó anyagra szorított rezgőfej rezgésben

4. Keménységmérés

tartásához szükséges energia méréséből fejezhető ki az anyag rezgéscsillapító-képességével (rugalmatlanságának mértékével) összefüggő keménység-adat.

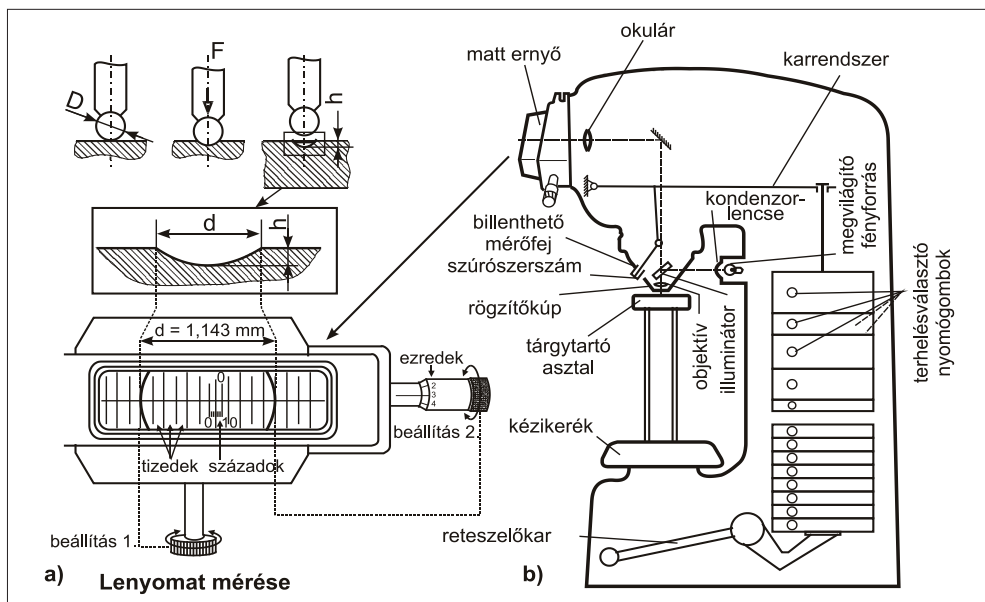
Legjelentősebbek a szűrő módszerek (Brinell, Vickers, Rockwell), melyek anyyra elterjedtek, hogy az újabb típusú, hordozható, elektronikát is alkalmazó (ezért gyakran más alapelvű) mérőberendezéseket is ezekre skálázzák.

4.2. Brinell-keménységmérés

Brinell-módszer esetén egy edzett, polírozott acélgolyót nyomnak meghatározott ideig a vizsgálandó anyagfelületbe, és a keménységet (Hardness) a terhelés és a létrejött göbbsüveglenyomat felületének hányadosa adja:

$$HB = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h} = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2} \right)} = \frac{2 \cdot F}{D \cdot \pi \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

ahol F a terhelőerő, D a golyóátmérő, h a benyomódás mélysége, d a lenyomat átmérője (4.1/a. ábra). A 4.1/b. ábra példaként egy hagyományos keménységmérőgépet szemléltet, melynek beépített mikroszkópja a benyomódási mélység helyett a d lenyomatátmérő mérését teszi lehetővé ezred milliméteres pontossággal.



4.1. ábra

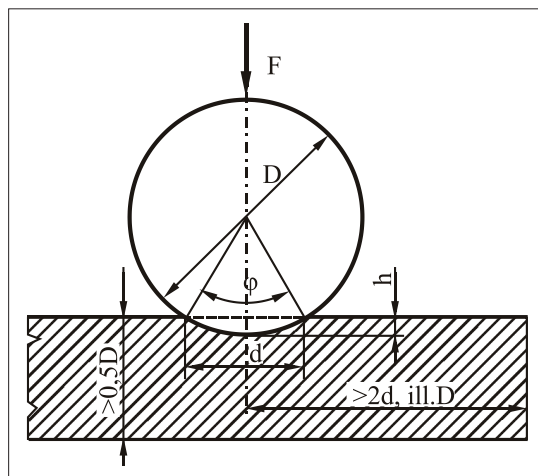
A Brinell-keménységmérés elve és berendezése

Mivel a terhelés és a lenyomat felülete egymással nem arányos, a szűrőszerszámot és a terhelés nagyságát szabványosítani kellett. A 850 HB-nél nagyobb keménységű golyó a mérendő anyag vastagságától függően 10 (6 mm vastagság felett); 5 (6 és 3 mm között); 2,5, 2 vagy 1 (3 mm alatt) mm átmérőjű lehet. A vizsgálandó anyag várható keménységéhez igazodva a terhelés értéke $1 \cdot D^2$ (pl. ón, ólom esetében), $2,5 \cdot D^2$ (pl. ón-antimon, ólom-antimon ötvözetek, azaz csapágfémek esetében), $5 \cdot D^2$ (pl. Al- és Cu-ötvözetek esetében), $10 \cdot D^2$ (pl. Cu- és Ni-ötvözetek esetében) vagy $30 \cdot D^2$ (pl. vasötvözetek esetében) lehet, amit kg-ban kell érteni, ha a golyóátmérőt mm-ben helyettesítjük.

A módszer 450 HB-nél kisebb keménységek mérésére alkalmazható a golyó deformálódása (így a mérés pontatlanná válása) nélkül. A terhelés ideje anyagtól függően: 15 s (vasötvözeteknél), 30 s (Cu- és Ni-ötvözeteknél), 120 s (Al- és Zn-ötvözeteknél) vagy akár 180 s (Pb- és Sn-ötvözeteknél). Speciális igényű (pl. meleg állapotban történő) keménységmeghatározás esetén gyorsacél- (500 °C-ig) vagy keménységű golyó (850 °C-ig) használható. Szintén keménységű (W) golyó alkalmazásával a mérési tartomány kiterjeszthető 650 HBW-ig. A hagyományos és köztudatba „berögzült” kp/mm² mértékegységű keménységértékeket a SI bevezetésével nem változtatták meg (nem szorozták meg „g”-vel), hanem azokat mértékegység nélküli számként kell kezelni (pl. HB 350, HBW 550).

A Brinell-lenyomat méretviszonyait a **4.2. ábra** szemlélteti.

A Brinell-eljárás előnye, hogy pontos eredményt ad, laboratóriumi mérésnek megfelelő; nagy szemcseméretű, inhomogén ötvözetek esetén is jó átlagkeménység-



4.2. ábra

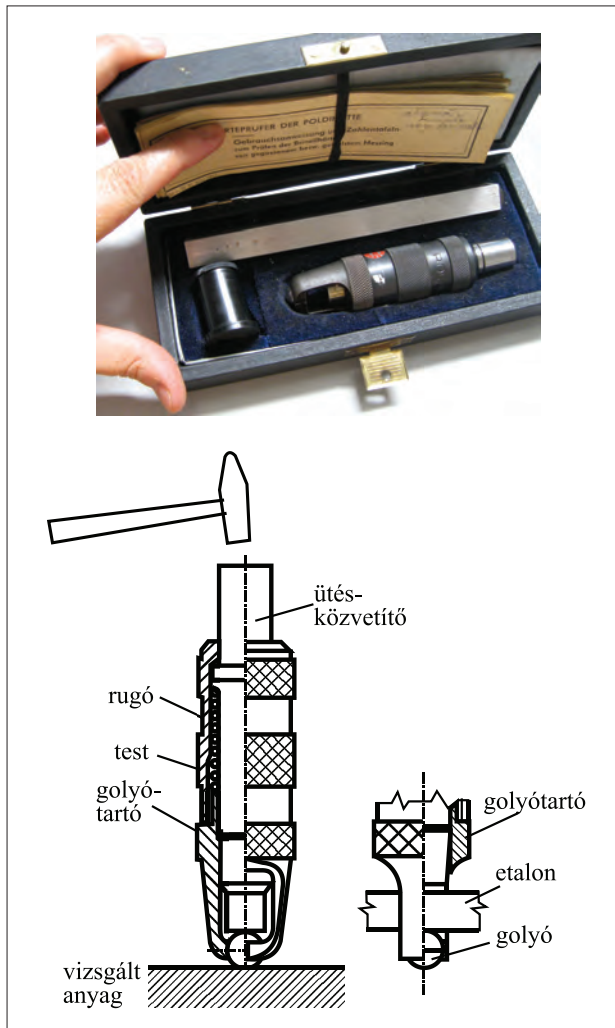
A Brinell-keménységmérés lenyomata, elvi vázlata

4. Keménységmérés

séget mutat. Ugyanakkor a Brinell-keménység értékéből megbízhatóan következtethetünk az anyag szilárdságára. Hátrányai: a mérés lassú, a mérendő darabok nagysága korlátozott, gondosan előkészített fényes, sík felületet igényel.

4.3. Poldi-keménységmérés

A Poldi-féle „kalapács” használatakor egy foglalatban lévő $D = 10$ mm átmérőjű edzett acélgolyót az ütőtüskére mért erős, határozott ütéssel a vizsgálandó anyagba nyomjuk (4.3. ábra).



4.3. ábra

A Poldi-féle kézi keménységmérő eszköze és elve

Az ütés erejének, illetve energiájának ismerete nem szükséges, mert ugyanaz az ütés egy másik lenyomatot is létrehoz az ismert keménységű összehasonlítható (szabványos) etalonpálcán. Egy-egy ilyen négyzetszelvényű pálcán kb. 20-20 lenyomat hozható létre minden oldalon, azaz kb. 80 lenyomat összesen. A munkadarabon és a pálcán keletkezett lenyomatok átmérőit – két egymásra merőleges irányban – mérőlupéval kell leolvasni, tizedmilliméter pontossággal.

Ha d_1 az ismert HB_1 keménységű etalonpálcán létrehozott lenyomat átmérője és d_2 az ismeretlen HB_2 keménységű anyagon keletkezett, akkor a keresett keménység:

$$HB_2 = HB_1 \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d_1^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_2^2}}$$

A Poldi-kalapács mint kézi szerszám kezelhető, és az eredményeket a kalapácshoz mellékelte kézi táblázatból lehet kiolvasni. Ezek az eredmények a Brinell-eljárás értékével nem pontosan egyeznek, de a szórások a gyakorlati alkalmazhatóságot nem befolyásolják. A táblázatban (4.4. ábra) a keménységértékek felett szereplő számok a szakítószilárdság tájékoztató értékei kg/mm²-ben.

| | | A golyónyom átmérője a vizsgált darabon mm-ben | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,0 | 4,1 | 4,2 | 4,3 |
| A golyónyom átmérője a próbában mm-ben | 3,1 | | | | | | | | | | | 123 | 114 | 105 | 96 | 89 | 82 | 76 | 70 | 63 | 57 | 52 | 47 | 43 | 39 | 36 | 33 | 30 | 27 |
| | 3,2 | | | | | | | | | | | 133 | 122 | 113 | 104 | 95 | 88 | 81 | 75 | 69 | 64 | 58 | 53 | 48 | 44 | 40 | 36 | 33 | 30 |
| | 3,3 | | | | | | | | | | | 140 | 129 | 120 | 111 | 102 | 94 | 87 | 81 | 75 | 70 | 64 | 59 | 53 | 48 | 44 | 40 | 37 | 34 |
| | 3,4 | | | | | | | | | | | 148 | 137 | 128 | 119 | 110 | 101 | 93 | 87 | 81 | 75 | 70 | 64 | 59 | 53 | 48 | 44 | 40 | 37 |
| | 3,5 | | | | | | | | | | | 156 | 145 | 136 | 127 | 118 | 109 | 101 | 94 | 88 | 82 | 76 | 70 | 64 | 59 | 53 | 48 | 44 | 40 |

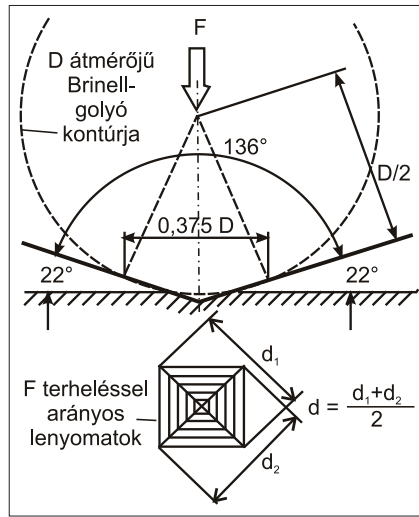
4.4. ábra

A Poldi-keménységértékek táblázata (részlet)

A Poldi-keménységméréssel nem érhető el olyan pontos laboratóriumi mérés, mint a Brinell esetében. Az eljárás előnye az egyszerűség, ugyanakkor helyszíni mérésekre nyílik lehetőség, olyan tárgyak keménységének mérésére, melyek laboratóriumban nem mérhetők (pl. kazánok, hídszerkezetek, gépágyak). A Brinell-eljáráshoz hasonlóan – mivel a Poldi-kalapács szúrószerszáma is az edzett acélgolyó – csak 450 HB-nál kisebb keménységű anyagok mérésére alkalmas.

4.4. Vickers-keménységmérés

Vickers-módszernél a szúrószerszám 136° -os csúcshögű négyzet alapú gyémántgúla, mellyel a létrehozott lenyomat felülete már arányosnak tekinthető a terhelés nagyságával (**4.5. ábra**), tehát szabadon megválasztható.



4.5. ábra

Vickers-keménységmérés szúrószerszám-geometriája

Lehetőség van mikroszkópon egyes fázisok ún. mikrokeménységének mérésére grammos terhelésekkel, vékony rétegek, illetve munkadarabok helyi keménységének meghatározására 1 kg-nál kisebb terhelésekkel, az általában szokásos 10 és 30 kg értékű (illetve ezeknél nagyobb) terheléssel végzett normál keménységmérés mellett. Mivel a gyémánt a legkeményebb ismert anyag, univerzálisan minden anyag keménysége mérhető vele. A keménység definíciója:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{F}{d^2} = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2},$$

$$2 \cdot \sin 68^\circ$$

ahol F a terhelőerő, S a lenyomat felülete, $d = (d_1 + d_2)/2$ pl. a **4.1/b. ábrán** látható gép mikroszkópjával mért lenyomatátlók számtani közepe.

A Vickers-módszer egyaránt használható lágy, középkevény és kemény anyagok mérésére. Előnye, hogy pontos eredményt ad, megfelel laboratóriumi mérésekhez, a terhelőerő korrekt megválasztásával minden anyag mérésére alkalmas.

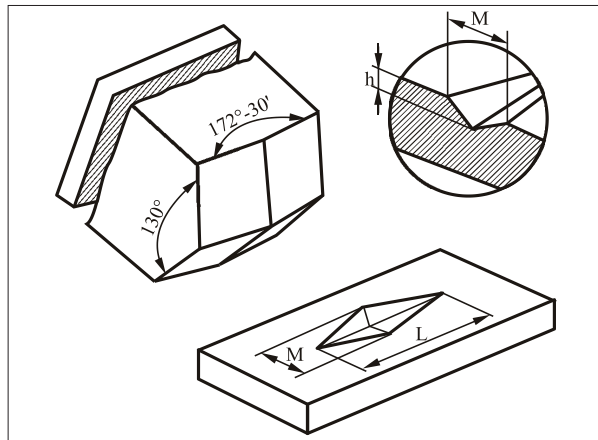
Ugyanakkor kis benyomódási mélysége miatt vékony kergek mérésére is alkalmas. Hátrányai: a mérés lassú, a mérendő darabok nagysága korlátozott; gondosan előkészített, fényes felületet igényel.

Mikro-keménységmérés

Az úgynevezett makro-keménységmérések (a keletkezett lenyomat felülete akár néhány mm^2 nagyságú is lehet) vékony anyagok vagy apróbb tárgyak (lemez, fóliák, edzett rétegek stb.), mikroszkopikus fázisok keménységmérésére már nem alkalmasak. Ilyen esetekben a kis terhelésű (0,0098–4,905 N) gyémántgúlás, Vickers-féle mikro-keménységmérőket alkalmazunk, s az eljárást mikro-keménységmérésnek nevezzük. A mikro-keménységmérő lehet önálló berendezés, avagy a metallográfiai mikroszkóp egységébe beépülő műszer.

4.5. Knoop-keménységmérés

Pontos eljárás, hasonló a Vickers-keménységméréshez. Az eljárás abban különbözik a Vickers-módszertől, hogy az alkalmazott szűrőszerszám nem négyzet, hanem rombusz alapú gyémántgúla (4.6. ábra). Az átlók méretaránya $L:M = 7:1$, a nyomat mélysége $h \approx L/30$.



4.6. ábra

Knoop-keménységmérésnél használt gyémánt szűrőszerszám geometriája

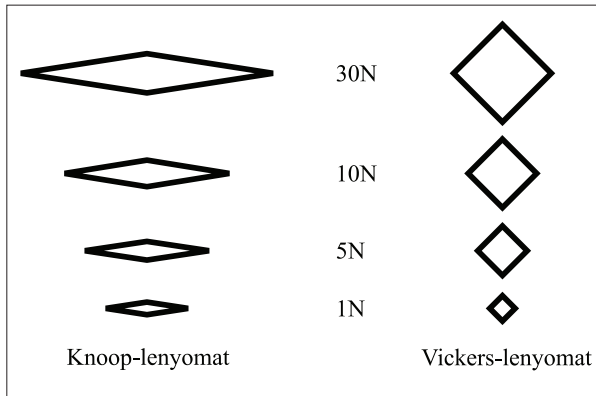
A keménység definíciója:

$$HK = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{1,14487 \cdot F}{L^2},$$

4. Keménységmérés

ahol F – a terhelőerő [N], A – a lenyomat felülete [mm^2], L – a lenyomat hosszabbik átlója [mm].

A mikro-Vickers-keménységméréssel azonos berendezésen végezhetők a Knoop-mérések. Előny, hogy a lenyomat mérete (4.7. ábra) nagyobb (a nagyobb átló értéke háromszor nagyobb, mint a Vicker-mérésnél), így pontosabb mérés végezhető.



4.7. ábra

Mikrokeménységi lenyomatok méretarányainak összevetése
a Knoop-, illetve Vickers-mérésnél (azonos terhelések esetében)

A Knoop-keménységmérést a fémek és nagyon rideg anyagok (üveg, műszaki kerámiák) vizsgálatára alkalmazzák, a kisméretű lenyomat mélysége (h) teszi ezt lehetővé, ugyanakkor jól alkalmazható felületi rétegek keménységmérésére is.

4.6. Rockwell-keménységmérés

A Rockwell-keménységmérést az ipari termelés gyártási sorozataiba iktatott gyors mérésre dolgozták ki.

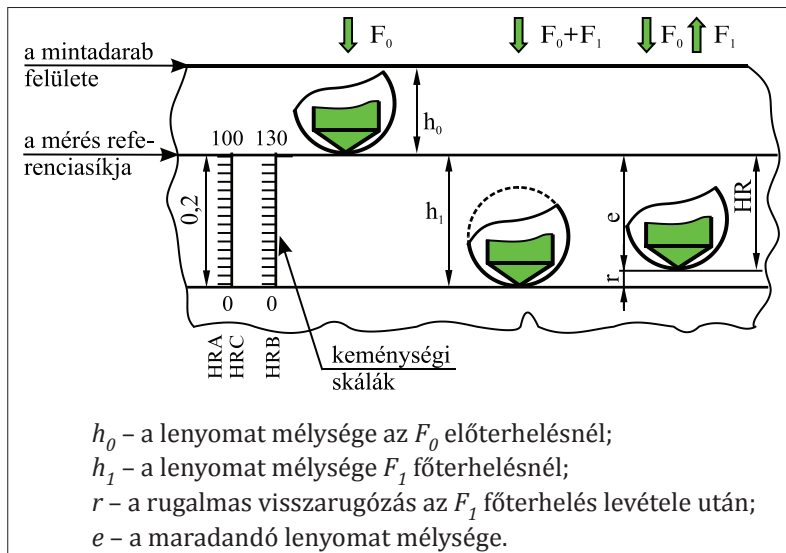
A Rockwell-keménységmérővel két terhelési fokozat közötti benyomódási mélység különbségéből származtatjuk a maradó alakváltozás, illetve abból a keménység mértékét. Az előterhelés célja, hogy a mért mélységnél kizárjuk a felületi pontatlanságok (gondos előkészítés hiányának) hatását. A Rockwell-módszer pontossága egyértelműen a benyomódási mélység mérésének pontosságától függ.

A Rockwell-vizsgálat három jelentős szakaszra bontható.

- I. A vizsgát tárgy felületébe nyomjuk a szúrószerszámot F^0 előterheléssel, melynek hatására h_0 mélységbe hatol a szerszám (gyémántkúp vagy acél-

golyó), s létrejön az ún. referencia (bázis) sík (**4.8. ábra**). Ezt nem mérjük, mert csak a felületi hibáknak a mérésre gyakorolt hatását hivatott kiküszöbölni. Amikor a szerszám megállapodott, az elmozdulását érzékelő mérőórát lenullázzuk.

- II. A második szakaszban F_1 főterhelés ráadása következik (itt meg kell várni, amíg a képlékeny alakváltozás befejeződik), így az $F_0 + F_1$ terhelés együttes hatására a szerszám a h_1 mélységig hatol a mérés referenciasíkjához viszonyítva (a rugalmas és maradó alakváltozásnak megfelelő mélységéig). Ugyanakkor a mérőóra mutatója ennek megfelelően elfordul.
- III. Amikor a mutató megáll, az F_1 főterhelést megszüntetik, ezáltal a szerszám a rugalmas benyomódás mértékével megemelkedik (r), és az óra mutatója ennek arányában visszafordul, s leolvasható a maradó benyomódás (e) nagyságával fordítottan arányos HR keménység.



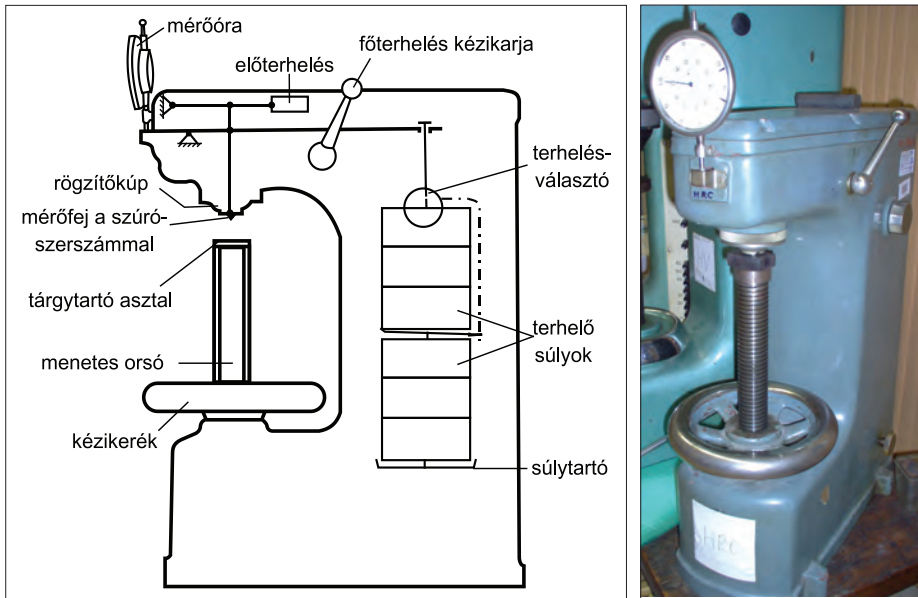
4.8. ábra

A Rockwell-keménységmérés elve

A mérés alapfeltételei:

- a vizsgálandó tárgy helyesen legyen rögzítve;
- a tárgy felülete sima legyen;
- görbült felületek sugara nem lehet kisebb 5 mm-nél;
- a mért tárgy vastagsága nem lehet kisebb 10·e-nél;
- a szomszédos lenyomatok egymás közötti távolsága nem lehet kisebb 3 mm-nél.

4. Keménységmérés



4.9. ábra

A Rockwell-keménységmérő berendezés

A Rockwell-módszernél többféle szűrőszerszám, illetve terhelés alkalmazható, a keménység tehát a maradó benyomódás mélységéből származtatható:

- **HRA** keménység 120° nyílásszögű gyémántkúppal mérhető, 10 kg elő- és 50 kg főterhelés mellett. A 0,002 mm-es (ún. Rockwell-) egységekben mért – főterhelés hatására létrejött – maradó benyomódás (e) alapján a keménység:

$$HRA = 100 - \frac{e}{0,002};$$

- **HRB** keménység 1/16 inch átmérőjű, 850 HV-nál nagyobb keménységű acélgolyóval mérhető 10 kg elő- és 90 kg főterhelés mellett. A 0,002 mm-es (ún. Rockwell-) egységekben mért – főterhelés hatására létrejött – maradó benyomódás (e) alapján a keménység:

$$HRB = 130 - \frac{e}{0,002};$$

- **HRC** keménység 120°-os csúcshögű gyémántkúppal mérhető, 10 kg elő- és 140 kg főterhelés mellett. A keménység az előzőhöz hasonló formulával határozható meg:

$$HRC = 100 - \frac{e}{0,002}$$

A képletekben szereplő 100, ill. 130 számérték az előterhelést követő „nullázáskor” kerül beállításra.

A Rockwell-keménységmérésnél nincs szükség számolásra, a készülékbe épített mérőóraszerű műszer a műveletet „automatikusan” elvégzi (**4.9. ábra**). A gyors, de kisebb pontosságú HRA-, HRB-, illetve HRC-módszer a lassúbb (felületelőkészítést, hagyományos gépeken lenyomatmérést is igénylő), de pontosabb HB-, illetve HV-módszer helyettesítésére szolgál, elsősorban gyártásközi (pl. hőkezelést, felületkezelést követő) minősítő vizsgálatoknál.

A Rockwell-keménységmérés alkalmazási területe:

HRA – lágy és kemény, vékony és vastag anyagok, kérégek keménységmérésére;

HRB – lágy és középkevény acélok, színes- és könnyűfémek, valamint ötvözetek keménységmérésére;

HRC – kemény edzett acélok, nemesített acélok, 0,8 mm feletti vastagságú cementált kérégek keménységmérésére.

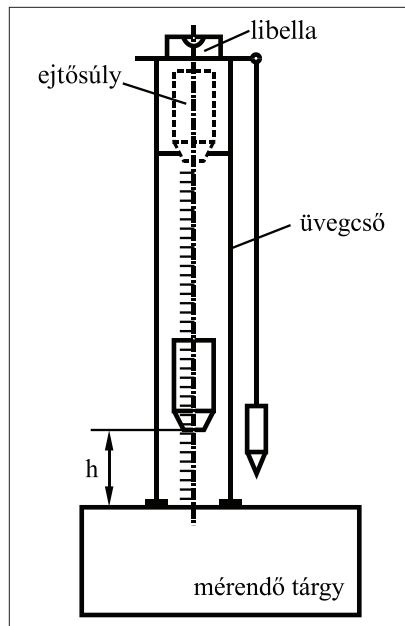
Egyéb Rockwell-mérési skálaváltozatokat összevetésükkel a mellékletben találunk. Ugyancsak a mellékletben láthatók a golyó alakú szűrőszerszámmal, avagy gyémántfejjel végzett vizsgálatok alkalmazási tartományai, illetve a Rockwell-keménységmérés kis terhelésű alkalmazásai is.

A Rockwell-keménységmérés előnye: egyszerű eljárás, az eredmény könnyen leolvasható; a mérés gyors, így sorozatmérésekre alkalmas; ugyanakkor a próbatest felületét nem szükséges köszörülni, csiszolni. Hátránya, hogy kevésbé pontos, laboratóriumi mérésekre csak korlátozottan alkalmas.

4.7. Shore-féle ejtő keménységmérés

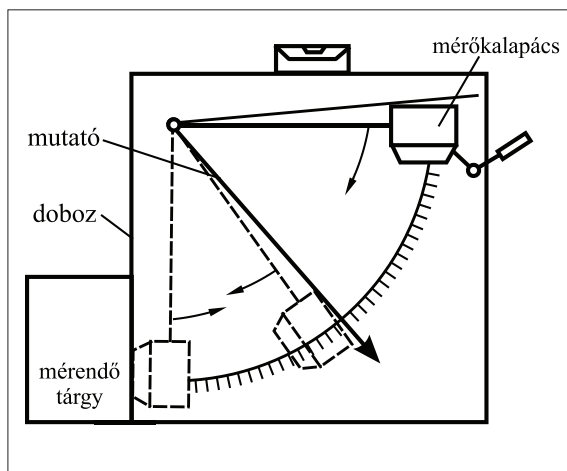
A Shore-féle ejtő keménységvizsgálat roncsolásmentes, egyszerű és gyors módszer. A vizsgálat a rugalmasság és keménység közötti arányosság alapján működik. Két jellegzetes változata: a függőleges elrendezésű berendezés, a szkleroszkóp, illetve az ígás ejtőművel működő duroszkóp.

A szkleroszkópos mérésnél (**4.10. ábra**) egy lekerekített gyémántcsúcsos, adott tömegű (2,5 g; 20 g) ejtőkalapácsot meghatározott h magasságból (10" = 254 mm; 4,5" = 114 mm) függőlegesen a mérendő tárgyra ejtve, a kalapács visszapattanási magasságát kell leolvasni.



4.10. ábra
Szkleroszkóp

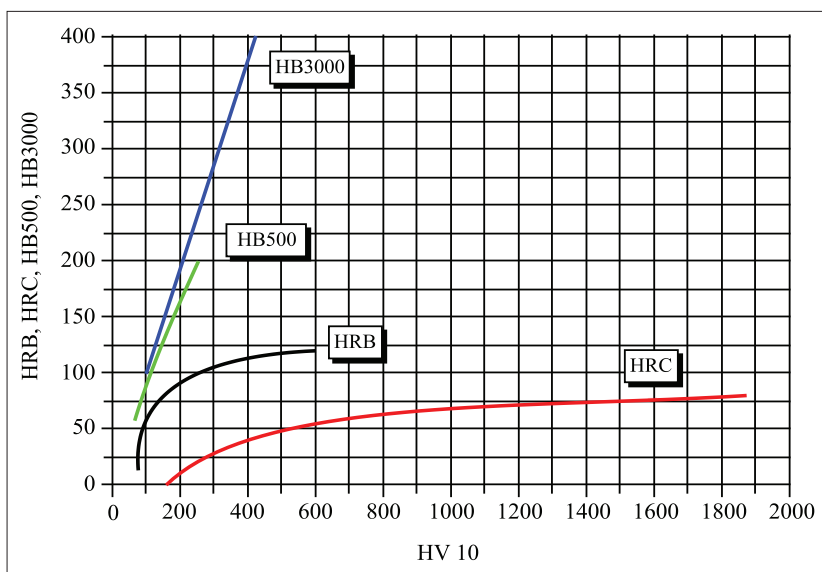
A duroszkóp esetében (4.11. ábra) a gyémántbetét egy ingakalapács fejére van erősítve, ami meghatározott magasságból a munkadarabra sújt, majd a visszapattanása során egy elforduló mutatót vonszol magával, mely a kilendülés szélső pontján marad, s a mutató előtt elhelyezett skálán leolvasható a mért érték.



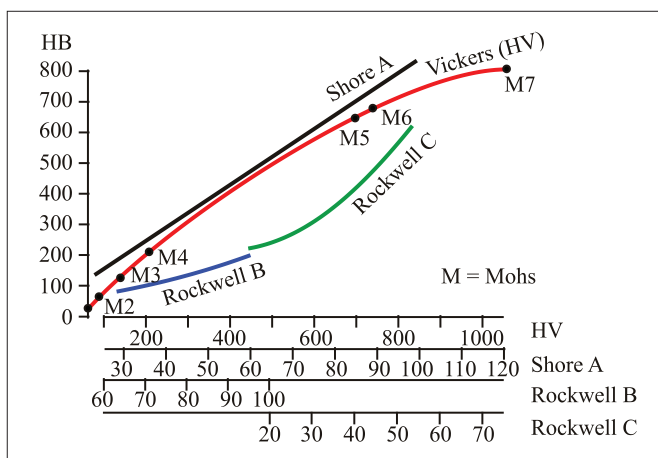
4.11. ábra
Duroszkóp

Keménységmérések közötti konverziók

A bemutatott különböző típusú keménységvizsgálatok mérőszámai között egyértelmű korrekt összefüggések nincsenek. Azonban találunk tájékoztató jellegű konverziós információkat táblázatokban, grafikonokban. Erre jó példa a **4.12. és 4.13. ábra** grafikonja.



4.12. ábra
Keménységkonverzió



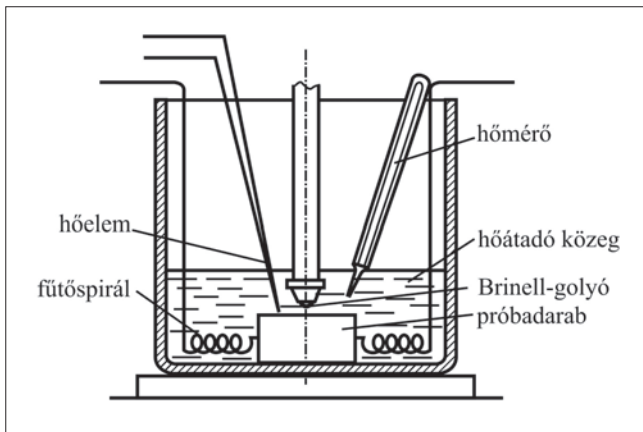
4.13. ábra
Keménységi skálák összevetése

4.8. Keménységmérés növelt hőmérsékleten

A nagyobb hőmérsékleten üzemelő alkatrészek (melegsajtoló szerszámok, motordugattyúk, kokillák stb.) keménységvizsgálatát célszerű a működés körülményeinek megfelelően, növelt hőmérsékleten elvégezni. Ezt teszi lehetővé a **4.14. ábrán** bemutatott berendezés.

A keménységvizsgálat Brinell-keménységmérés. A mérést megelőzően a Brinell-golyót, a tartótűskét a mérendő tárggyal együtt célszerű előmelegíteni, hogy méréskor a golyó és a mérendő tárgy azonos hőmérsékleten legyen. A növelt keménységmérésnél általában keményfém golyót alkalmaznak, hiszen 200 °C-nál nagyobb hőmérsékleten az edzett acélból készült Brinell-golyó megereztődik, kilágyl.

A mérés alatt a terhelést egyenletesen növelik, és minimum 3 percig fenntartják. A keletkezett lenyomat átmérőjét 0,01 mm pontossággal szobahőmérsékleten mérik le.



4.14. ábra
Keménységvizsgálat növelt hőmérsékleten

5. TÖRÉSMECHANIKAI VIZSGÁLATOK ÉS ELLENŐRZŐ SZÁMÍTÁSOK

A szilárdság és a duktilitás egyfajta eredőjének tekinthető szívósság (ridegtöréssel szembeni ellenállás vagy törésállóság) elsősorban a makroszerkezettől (felületminőség, folytonossági hiányok), a szubmikroszkopikus szerkezettől (rácsszerkezet, ötvözők, szennyezők), a feszültségállapot (síkbeli, térbeli) jellegétől, az igénybevételi sebességtől és a hőmérséklettől függ. Az első kettő anyag- (és részben technológia-) jellemző, az utóbbi három állapottenyező.

5.1. Képlékeny és ridegtörés: repedéskeletkezés és -terjedés

A nem megfelelő szívósság esetén bekövetkező törés két alapvető szakasza: a (kritikus méretű) repedés keletkezése és a repedés terjedése. A törési folyamatok két jellegzetes formája, melyek tisztán önmagukban ritkábban, „keveredve” (átmeneti, vegyes képet mutatva) gyakrabban előfordulnak:

1. Képlékeny törés: képlékeny alakváltozás mellett jön létre a szerkezeti anyag egyes részeinek a maximális csúsztatófeszültség síkjain történő elmozdulásával. Elősegíti az egytengelyű húzó vagy a többtengelyű nyomófeszültségi állapot, a sima felület, az anyag szívós jellege, a kis igénybevételi sebesség és a nagy(obb) hőmérséklet. A töretet makroszkopikusan törést megelőző kontrakció vagy expanzió, matt gödrös felület, mikroszkopikusan üregképződés és transzkrisztallin (szemcsén áthaladó) repedésterjedés jellemzi.
2. Ridegtörés: gyakorlatilag alakváltozás nélkül következik be a szerkezeti anyag összetartó erőinek a maximális húzófeszültségre merőleges síkok mentén történő legyőzésével. Létrejöttét elősegíti a többtengelyű húzófeszültségi állapot, a felület egyenetlenségei, hirtelen méretváltozások okozta helyi feszültségcsúcsok, az anyag rideg jellege, a nagy (dinamikus) igénybevételi sebesség, illetve ennek nagy ismétlődési száma és a kis(ebb) hőmérséklet. Ez utóbbi alól kivétel az ún. „kéktörékenység” jelensége, mely oldott nitrogént tartalmazó acélok 200-250 °C-on bekövetkező elridegédé-

se. A töretet makroszkopikusan kontrakció vagy expanzió hiánya, fényes, kristályosan csillogó felület, mikroszkopikusan hasadási lépcsők és interkristallin (szemcseközi) repedésterjedés jellemzi.

A felületen középpontos köbös rácsú fémekre a képlékeny, a hexagonálisokra a ridegtörés jellemzőbb. A térben középpontos köbös kristályrácsú fémek, sőt több polimer, illetve kerámia esetében egy átmeneti hőmérséklet fölött a képlékeny, az alatt a ridegtörés dominál. Pl. az acélban oldott nitrogént megkötő nitridképző ötvözők (pl. Ti, Al, Nb, B) kedvezően hatnak a szívósságra. Más ötvözők (pl. Zr) a zárványok alakját előnyösen befolyásolva csökkentik azok feszültségkoncentrátor jellegét.

A szennyezők által okozható elridegedési hajlam kialakulásának megakadályozását szolgálja a szennyezők megengedett mennyiségének korlátozása (szabványos előírások max. tized-, század- vagy ezredszázalékra), illetve korszerű – igen kis szennyezőtartalmat eredményező – anyagelőállító technológiák alkalmazása. A szemcseméret növekedés (szemcsedurulás) is fokozza az elridegedési hajlamot. Ennek elkerülése, késleltetése érdekében fontos, hogy az üzemi hőmérsékletén, illetve időtartama alatt ne következzen be szemcsedurulás.

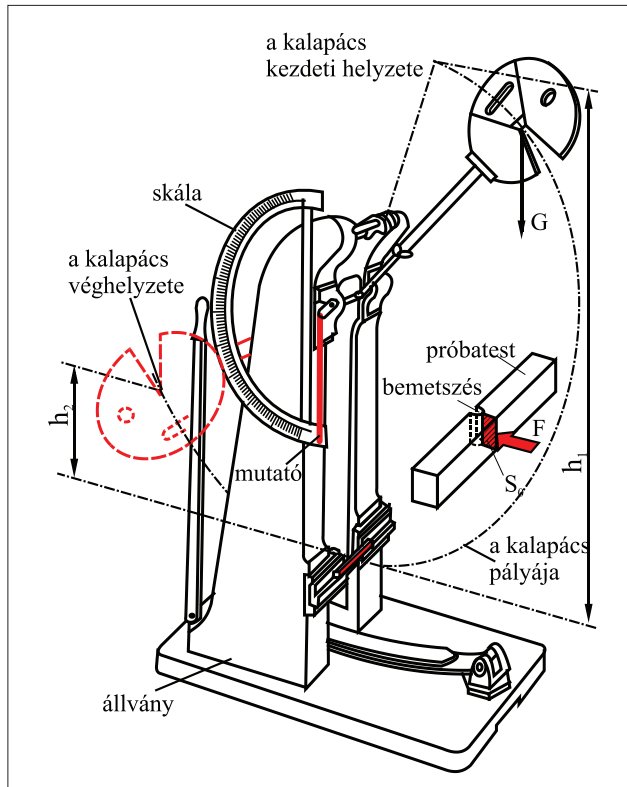
5.2. Charpy-féle ütve hajlító vizsgálat

Az ütve hajlító vizsgálat célja meghatározni adott körülmények között az anyag ütőmunkájának értékét, illetve ezen értékből következtetni az anyag rideg (vagy szívós), avagy képlékeny voltára.

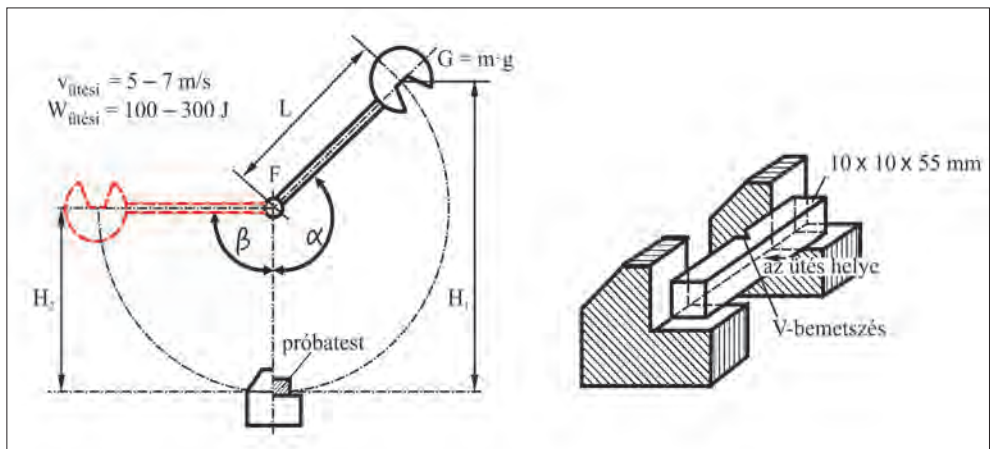
A szívósságot minősítő Georges Charpyről (1865–1945) elnevezett Charpy-féle ütve hajlító vizsgálatnál (5.1. ábra, 5.2/a. ábra) középen (egyoldalon) V-bemetszéssel ellátott, két végén alátámasztott, $10 \times 10 \times 55$ mm befoglaló méretű próbatestet a bemetszéssel átellenes oldalról az ütőmű L sugarú körpályán mozgó, H_1 magasságból indítható, m tömegű ingájának egy ütésével meghajlítják, illetve eltörik, majd meghatározzák a felhasznált energiát (KV, a német Kerb = bemetszés szóból és a V alakból) a fel nem használt energiával arányos H_2 magasságra történő továbblendülésből:

$$KV = m \cdot g \cdot (H_1 - H_2) = m \cdot g \cdot L \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \quad [J].$$

Az inga tengelyén lévő mutató a továbblendülés szögével (β) elfordul, így a próbatest törésére felhasznált energia, az ún. ütőmunka egy alkalmasan elkészített skáláról közvetlenül leolvasható. Az így kapott mérőszámot, illetve a vizsgálat információértékét befolyásolja a próbatest és a bemetszés geometriája, az



5.1. ábra
Ingás ütőmű: Charpy-kalapács

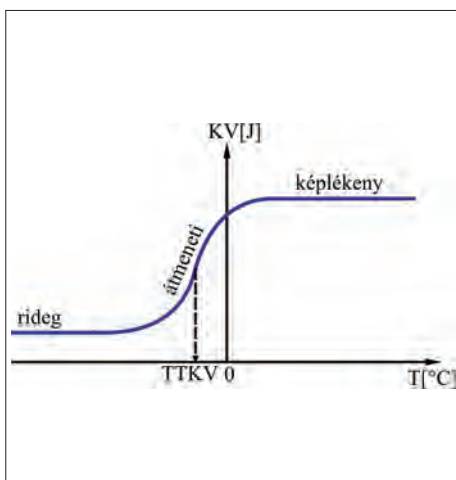


5.2/a. ábra
Ütve hajlító vizsgálat (I.)

inga által leadható energia (100 vagy 300 J a szokásos) és az ütési végsebesség is, ami általában 5-7 m/s. Ezért csak az azonos körülmények között végzett vizsgálati eredmények hasonlíthatók össze egymással.

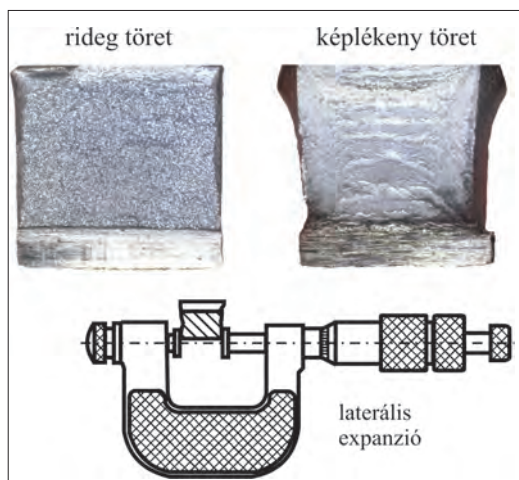
Az ütte hajlító vizsgálat gyors és egyszerű módja az anyagok ridegtörési hajlamának (törési érzékenysége) kimutatására a hőmérséklet mint rideg vagy szívós anyagállapotot befolyásoló állapotényező hatásán keresztül. Az anyagok jelentős hányadának ütőmunkája a hőmérséklet függvényében a **5.2/b. ábra** szerint változik. A rideg és képlékeny állapot között van egy átmeneti szakasz, melyben a kijelölhető kritikus átmeneti hőmérséklet (Transition Temperature) (TTKV) az anyagok ridegtörési hajlamának rangsorolására alkalmas. Ezt vagy a görbe inflexiójához rendelik, vagy megadott ütőmunkaértékhez. Nem szabványos méretű próbatest esetén –összehasonlításra nem használható – KCV [J/cm²] fajlagos ütőmunkát lehet meghatározni a tényleges törött keresztmetszetre vonatkoztatva.

A töretek felületének makro- és mikroszkopikus morfológiai elemzésével foglalkozik a fraktográfia, ami pl. a törés rideg, avagy képlékeny jellegéről tájékoztat. Az **5.2/c. ábrán** ütte hajlító vizsgálati próbatestek rideg, illetve képlékeny (szívós) törete látható a képlékenységi (szívósság) mértékét kifejező laterális expanzió (keresztirányú szélesedés) mérésével együtt.



5.2/b. ábra

Ütte hajlító vizsgálat (II.)



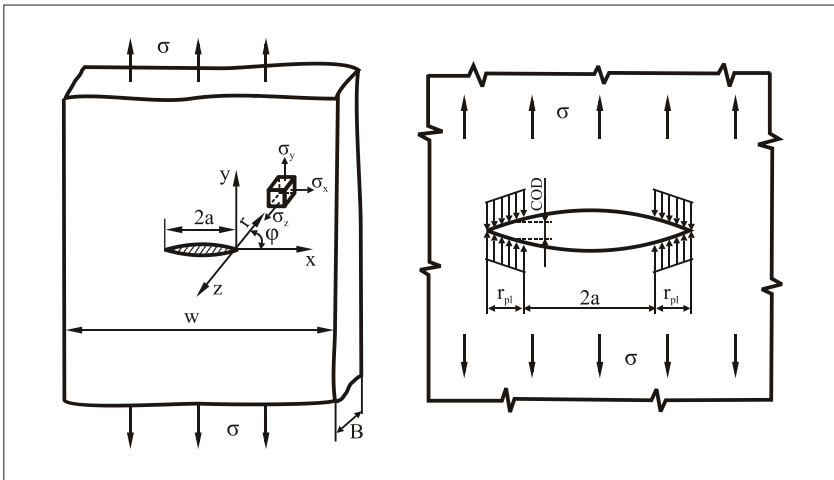
5.2/c. ábra

Ütte hajlító vizsgálat (III.)

5.3. K_{Ic} törési szívósság értelmezése, meghatározási lehetőségei

Szerkezeti anyagaink jelentős részében előfordul(hat)nak – gyártástechnológiai vagy üzemeltetési eredetű – folytonossági hiányok, köztük repedések is, ezért szükség van olyan anyagjellemzőkre, amelyek a meglévő repedések törés nélküli elviselését minősítik. A repedések csúcsának környezetében (5.3/a. ábra) a külső terhelő (átlag) feszültségtől (σ) jelentősen eltérő feszültségek ébrednek (síkbeli alakváltozási állapotot feltételezve):

$$\sigma_x = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot f_1(r, \varphi); \sigma_y = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \cdot f_2(r, \varphi); \sigma_z = \nu \cdot (\sigma_x + \sigma_y).$$



5.3/a-b. ábra

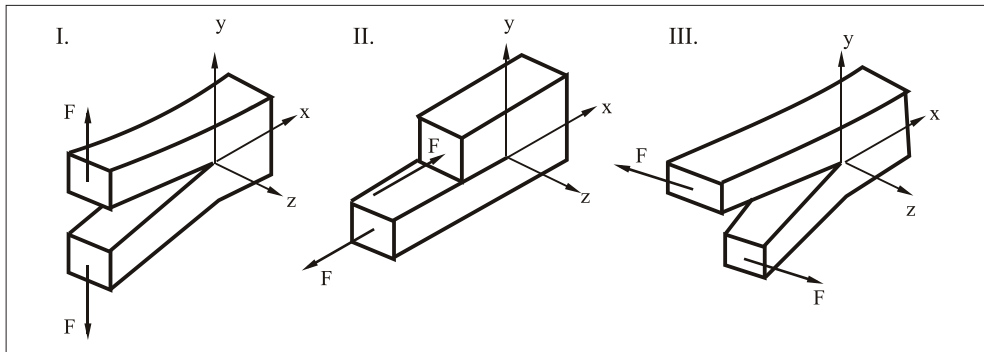
Feszültségintenzitási tényező és a COD értelmezése (I.)

A $\sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$ mennyiség jellemzi a $2a$ méretű repedést tartalmazó anyag és a terhelés viszonyát. Ez az ún. feszültségintenzitási tényező (K), melynek mértékegysége $\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$ vagy $\text{N/mm}^{3/2}$. A két mértékegység közötti átváltás:

$$1 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}} = \sqrt{1000} \text{ N/mm}^{3/2} = 31,623 \text{ N/mm}^{3/2}.$$

A repedés és a külső feszültség egymáshoz viszonyított orientációjától (5.3/b. ábra) függően megkülönböztethető K_I , K_{II} és K_{III} tényező. A repedésterjedés akkor következik be, ha K eléri egy bizonyos K_c kritikus értéket, ami anyagjellemző. Mivel az I jelű terhelési eset a legveszélyesebb, ezért a K_{Ic} („ká-egy-cé”) érték terjedt el anyagminősítési célra.

Az üzemi hőmérsékletre érvényes K_{Ic} ismeretében meghatározható az a kritikus repedésméret ($2a$), amelynél nagyobb jelenléte változatlan feltételek



5.3/c. ábra

Feszültségintenzitási tényező és a COD értelmezése (II.)

(pl. $\sigma = R_{p0,2}/b$) mellett töréshez vezet:

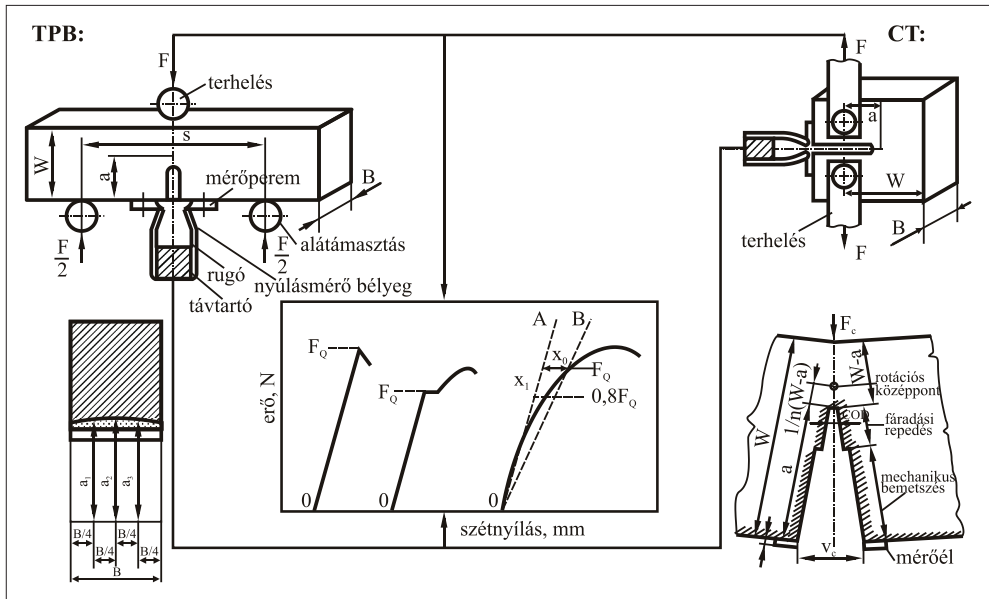
$$K_{Ic} = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} = \frac{R_{p0,2}}{b} \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \quad \rightarrow \quad 2a = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{K_{Ic} \cdot b}{R_{p0,2}} \right)^2,$$

ahol b a méretezésnél alapul vett biztonsági tényező. Esetenként egy, a repedés alakjától és anyagbeli helyzetétől függő geometriai tényezőt (Y) is figyelembe vesznek: $K_{Ic} = Y \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$. A kapott $2a$ értéket összehasonlítva a roncsolásmentes vizsgálatok eredményével, megítélhető az anyagban lévő repedés veszélyessége.

A K_{Ic} törési szívósság meghatározása hárompontos hajlítóvizsgálattal (TPB = Three Point Bending) vagy ún. kompakt próbával (CT = Compact Test) szokásos (5.4. ábra).

A forgácsolással kialakított – szabvány szerinti méretű és alakú – próbatesten a csúcsában nullánál nagyobb lekerekítési sugarú bemetszés („műrepedés”) is található, melyet vizsgálat előtt – folyáshatár alatti ismétlődő terheléssel – továbbrepsztenek (min. 1,25 mm-rel), hogy az gyakorlatilag nulla lekerekítési sugarú, valódi repedésben végződjön. Ezután a próbatestet nyúlás- (elmozdulás-) mérő bélyegekkel felszerelve, szakítógépben törésig terhelik, miközben regisztrálják az erő- és a bemetszés-szétnyílás kapcsolatát. Az ábra szerinti jellegű görbék valamelyikét eredményül kapva, meghatározható az FQ értéke.

A próbatest jellemző méreteivel (5.4. ábra) kiszámítható egy K_Q feltételezett törési szívósság. Ez akkor tekinthető az anyagra jellemző K_{Ic} -nek, ha azzal a B , $a = (a_1 + a_2 + a_3)/3$ és W – a méretek rendre nagyobbak (vagy egyenlőek), mint



5.4. ábra
 K_{Ic} meghatározása

$2,5 \cdot [K_Q/R_{p0,2}]^2$, azaz síkbeli alakváltozási állapotban volt a vizsgálat során a próbatest, egyébként megnövelt méretű próbatesttel kell a vizsgálatot megismételni.

$$K_Q = \frac{F_Q \cdot s}{B \cdot W^{3/2}} \cdot f_1\left(\frac{a}{W}\right) \text{ (TPB-nél), illetve } K_Q = \frac{F_Q}{B \cdot W^{1/2}} \cdot f_2\left(\frac{a}{W}\right) \text{ (CT-nél).}$$

A képletekben $f_1(a/W)$ és $f_2(a/W)$ alkalmasan megválasztott hatványfüggvények.

5.4. Repedés veszélyességének megítélése ellenőrző számítással

Feladat: anyagválasztás törésmechanikai megfontolások szerint. Készítendő egy szerkezet bármely anyagból, de követelmény, hogy tömege minimális legyen.

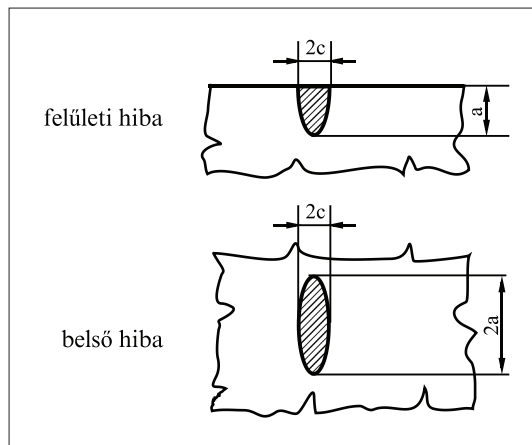
| Választható: | R_e [MPa] | Sűrűség (ρ) [kg/m ³] | Fajlagos szilárdság, R_e/ρ |
|-------------------|-------------|---|---------------------------------|
| Acél | 1750 | 7800 | 0,225 |
| Al-ötvözet | 600 | 2700 | 0,222 |
| Ti-ötvözet | 980 | 4500 | 0,218 |

5. Törésmechanikai vizsgálatok és ellenőrző számítások

A fajlagos szilárdság szempontjából a különbség minimális, kicsit jobb az acél, de a statikus méretezés szerint megegyezők. Felveszünk 2-es biztonsági tényezőt, tehát a $\sigma_{meg.} = R_e/2$.

Törésmechanikai megfontolás: törés ellen legyen biztonság! Feltételezünk egy felületi repedést, ahol az $a/2c$ aránya (5.5. ábra): 0,2.

Kérdés: melyik anyagnál lehet a legnagyobb a kritikus (a még éppen megengedhető) repedés?



5.5. ábra
Jellemző hibaméretetek

A feszültségintenzitási tényező számítása:

– felületi hiba esetében:

$$K_I = \sigma \sqrt{a\pi} \cdot \sqrt{\frac{1,21}{Q}}$$

– belső hiba esetében

$$K_I = \sigma \sqrt{a\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{Q}}$$

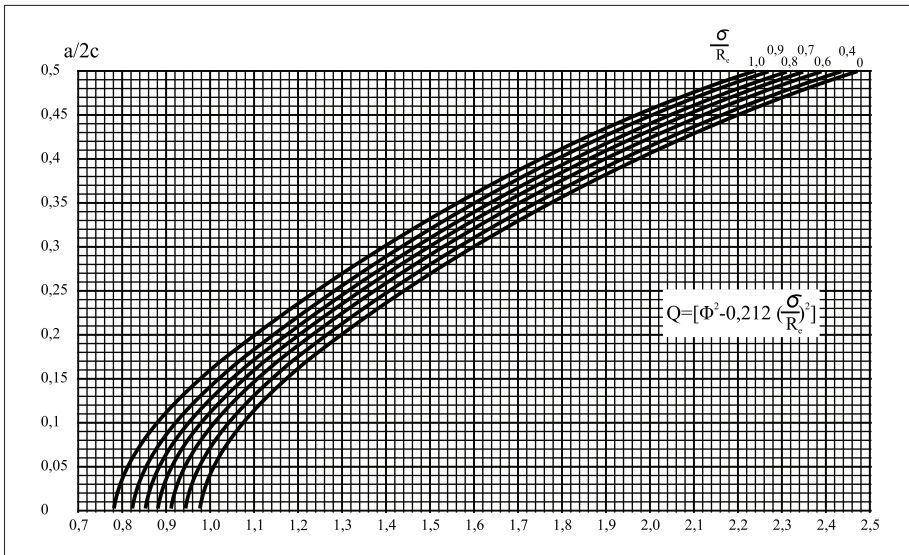
K_I = a feszültségintenzitási tényező;

a = ellipszis alakú hiba esetében a kistengely fele;

Q = repedési formatényező; értékét az 5.6. ábrából lehet meghatározni;

σ = a terhelő húzófeszültség;

R_e = az anyag folyáshatára.



5.6. ábra

Repedési formatényező meghatározása

A repedés terjed, ha $K_I = K_{Ic}$, vagyis az ellenőrzés során K_I -nek kisebbnek kell lennie, mint K_{Ic} (a kritikus feszültségintenzitási tényező).

AlMgSi-re $K_{Ic} = 2000\text{--}2300 \text{ N mm}^{-3/2}$

Acélra $K_{Ic} = 3500 \text{ N mm}^{-3/2}$

A felületi repedésnél tehát

$$K_I = \sigma \sqrt{a} \sqrt{\frac{1,21\pi}{Q}},$$

ahol $K_I = K_{Ic}$ ha $a = a_{\text{krit}}$

$Q = 1,27$ (az 5.6. ábráról), ha $\sigma/R_e = 0,5$ és $a/2c = 0,2$

$\sigma = \sigma_{\text{meg}}$

Hiányzó adatok, illetve a számítás eredménye:

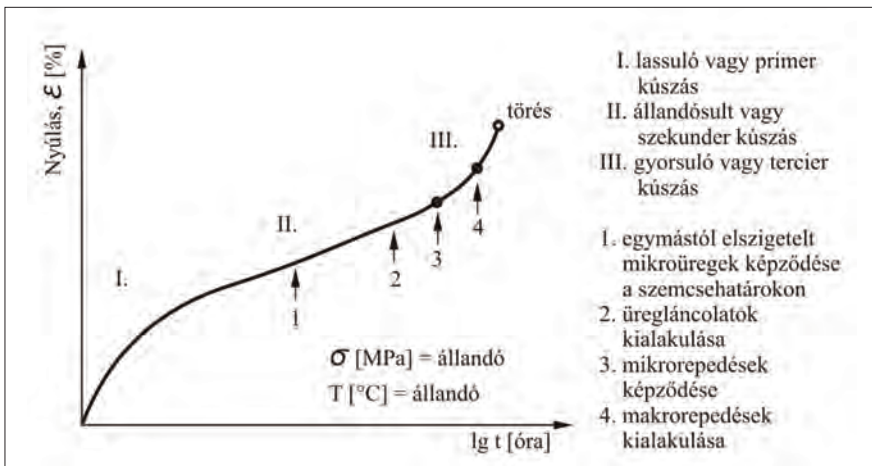
| | K_{Ic} [N/mm ^{3/2}] | σ_{meg} [MPa] | a [mm] | 2c [mm] |
|------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------|------------|
| Acél | 3520 | 875 | 5,5 | 27,5 |
| Al-ötvözet | 1050 | 300 | 4,1 | 20,5 |
| Ti-ötvözet | 2820 | 490 | 11,2 | 56,0 |

Tehát a legjobb a Ti-ötvözet, mert itt a legnagyobb a kritikus (még éppen megengedhető) repedés!

6. A KÚSZÁS ÉS A KIFÁRADÁS ELEMZÉSE SZÁMÍTÁSSAL

6.1. A kúszás (tartós folyás) jelensége, mérőszámai

A kúszás (vagy tartós folyás) közel állandó feszültségen végbemenő folyamat, mely egy-egy anyagcsoportra jellemző hőmérséklet felett, az idő függvényében viszonylag jelentős alakváltozást hoz létre. Pl. a polimerek már szobahőmérsékleten, az alumíniumötvözetek 250 °C felett, az acélok kb. 450 °C felett hajlamosak kúszásra.



6.1. ábra

Kúszási folyamat jellemzői

A kúszást – mint termikusan aktivált folyamatot – jól jellemzi az alakváltozási sebesség, mely a hőmérsékletnek exponenciális, a feszültségnek hatványfüggvénye (**6.1. ábra**). A kúszási folyamatnak három jellegzetes szakasza különböztethető meg.

- I. Lassuló vagy primer kúszás: melynek során a létrejövő képlékeny alakváltozás a szerkezeti anyag keményedését idézi elő. Ennek hatása erősebb, mint az egyidejűleg végbemenő, szilárdságcsökkenést okozó folyamatoké,

ezért a kúszás sebessége csökken. A kúszás ezen szakasza logaritmikus függvényvel jellemezhető.

- II. Állandósult vagy szekunder kúszás: egyfajta dinamikus egyensúly áll fenn a keményedés és a szilárdságcsökkenés között. A megnyúlás az idővel lineáris arányban növekszik, amit a szemcsehatárok menti csúszás és a „diffúzióvezérelt” diszlokációmozgás hoz létre.
- III. Gyorsuló vagy tercier kúszás: amikor az anyagban végbemenő irreverzibilis (nem visszafordítható) változások és a valódi feszültség növekedése révén – helyi kontrakciók következményeként – a nyúlás gyorsan növekszik, és töréshez vezet.

A fémek kúszásállósága az újrakristályosodási hőmérsékletük növelésével (pl. acélnál Mo-ötvözással) és/vagy diszlokációmozgást gátló, az alpmátrixban nem oldódó kemény, diszperzen eloszló kiválások (pl. acélban V_4C_3) létrehozásával javítható.

A kerámiákban már igen kis mértékű kúszás is veszélyes mértékű sajátfeszültségeket kelthet, mivel azok nem tudnak leépülni (a nagy ridegség és a minimális alakváltozó-képesség miatt), hanem halmozódnak, illetve a külső terhelésből eredő feszültségekre szuperponálódnak (azokhoz hozzáadódnak). Ezért pl. a kristályhatár menti kúszást megakadályozó ötvözés vagy más szóval dopolás javíthatja a kerámiák kúszásállóságát.

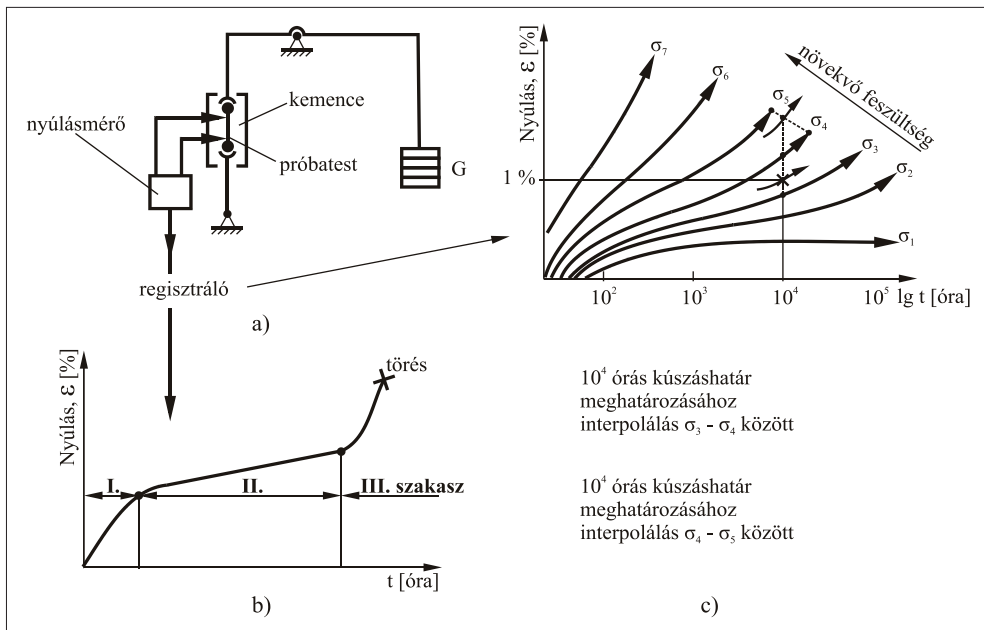
A kúszás okai tehát olyan termikusan aktivált folyamatok (pl. diszlokáció- és szemcsehatár-mozgások), amelyek a szerkezeti anyag fajtájától és olvadási (üvegesedési) hőmérsékletétől (T_{olv}) függő hőmérsékleteken (T_k) lépnek fel: pl. fémekre $T_k > (0,3-0,4) \cdot T_{olv}$, kerámiákra $T_k > (0,4-0,5) \cdot T_{olv}$.

A megengedhető feszültséget két megközelítésben szokás definiálni:

- kúszáshatár, azaz adott hőmérsékleten, adott idő alatt (pl. 105 óra) egy meghatározott (pl. 1%) alakváltozást létrehozó feszültség;
- idő(tartam)szilárdság, azaz adott hőmérsékleten, adott idő alatt törést – rendszerint interkristallin repedésterjedést követően – okozó feszültség.

Kúszáshatár – mint méretezési jellemző – akkor használatos, ha az adott anyagból készülő alkatrész megengedhető alakváltozása korlátozott (pl. turbinalapát). Időtartamszilárdságra pedig akkor méreteznek, ha az alakváltozás megengedhető, de a törést ki kell zárni (pl. erőművi gőzcsővezeték).

A reológiai vizsgálatok tárgya olyan igénybevételi módok okozta anyagviselkedés tanulmányozása, melyeknél az időfüggés nem elhanyagolható. Kúszás-vizsgálat (6.2/a. ábra) során adott hőmérsékleten, állandó feszültséggel terhelt



6.2. ábra
Kúszás vizsgálata

próbatest alakváltozását törésig regisztrálják az idő függvényében. A kúszás-vizsgálatnak – a kúszási folyamathoz hasonlóan – szintén három jellegzetes szakasza különböztethető meg (6.2/b. ábra). Több feszültségszinten végzett vizsgálatok jellegzetes kúszásgörbéit közös diagramban ábrázolva olyan görbesereg adódik, melyből szerkesztéssel és interpolálással meghatározhatók a kúszásállósági jellemzők (6.2/c. ábra).

Ezen törésig tartó, nagyon hosszú ideig végzendő vizsgálatokat sokszor rövid idejű vizsgálatokkal helyettesítik, melyek eredményei alapján a hosszú idejű vizsgálatok adatait – a II. szakasz lineáris jellege alapján – extrapolálással becsülik. A rövidített vizsgálatokból való becslés nem kockázatmentes, ezért csak akkor végezhető, ha már rendelkezésre állnak teljes idejű vizsgálati tapasztalatok, illetve eredmények is.

A kúszás ötvözők diffúziója által befolyásolt folyamatnak tekinthető, melynek meghatározó paraméterei az idő és a hőmérséklet. Ezek egymás rovására megváltoztathatók, azaz a nagyobb hőmérsékletű (T_2), rövidebb idejű (t_2) vizsgálatok eredményeiből a kisebb hőmérsékletű (T_1), hosszabb idejű (t_1) adatok becsülhetők a

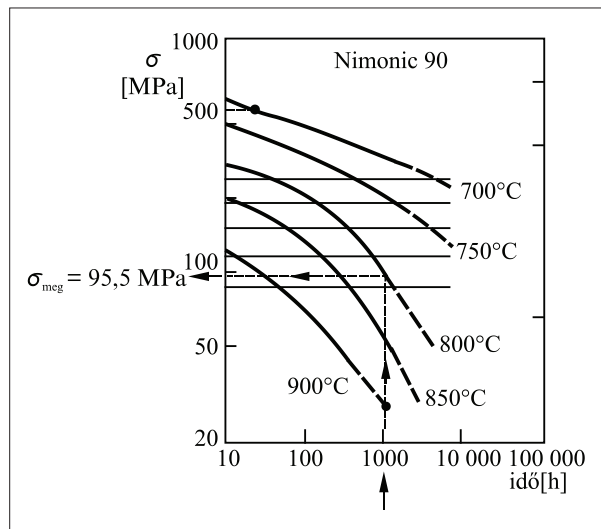
$$T_1 \cdot (C + \lg t_1) = T_2 \cdot (C + \lg t_2); \text{ ha } T_1 < T_2; t_1 > t_2; \text{ és } T_2 - T_1 \leq 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

összefüggés alapul vételével, ahol C anyagi minőségtől függő paraméter. Az extrapoláció (rövidebb időtartamú vizsgálatból hosszabb időtartam alatt várhatóan létrejövő deformációra következtetés) csak akkor jöhet szóba, ha már beállt a kúszás állandósult szakasza, ami önmagában is gyakran több ezer órát vesz igénybe.

6.2. Kúszási esettanulmányok elemzése számítással

Méretezéskor négy paraméter: a hőmérséklet, az idő, a feszültség és az alakváltozás kapcsolatát kell megkeresni és a szerkezet méreteivel összhangba hozni. A **6.3. ábra** Nimonic 90 típusú nikkelbázisú ötvözet törést okozó feszültség-hőmérséklet-idő összetartozó értékeit mutatja, tehát az ábrán szereplő feszültség tulajdonképpen az időszilárdságnak felel meg.

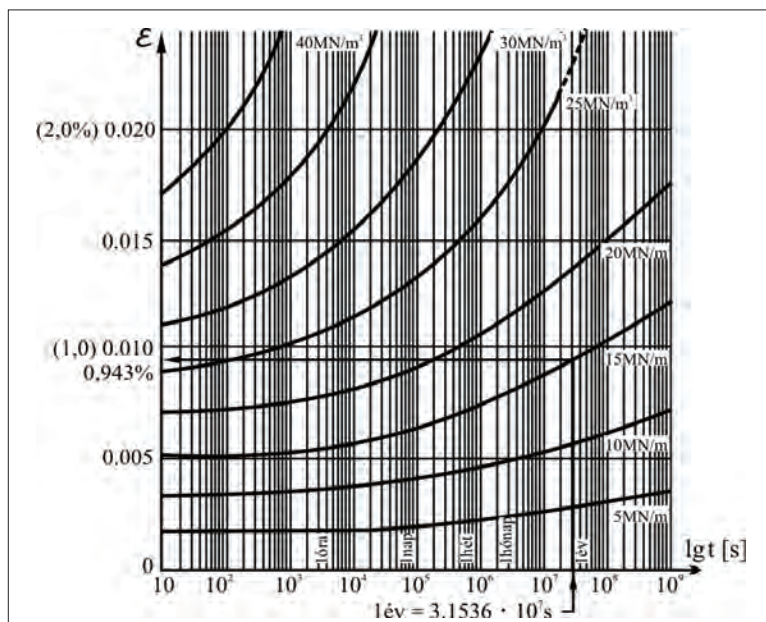
A megengedhető feszültség egy $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ -on üzemelő szerkezetben – ha előírás, hogy 1000 óra alatt a törés ne következzen be – a **6.3. ábra** alapján meghatározható. Az 1000 órához tartozó függőleges egyenes és a $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ -os görbe metszéspontját a függőleges tengelyre kivetítve valamivel 100 MPa alatti feszültség adódik. Az 50 és 100 MPa közötti feszültségtartományban interpolálva a pontos érték $95,5 \text{ MPa}$.



6.3. ábra

A törést okozó feszültség az idő és a hőmérséklet függvényében

A másik lehetséges megadási módot a **6.4. ábra** mutatja, melyen egy PVC-csőanyag kúszási görbéi láthatók 25 °C-on. A vízszintes tengelyen az idő logaritmusa van feltüntetve másodpercben, a függőleges tengelyen pedig a százalékos nyúlás. A görbék különböző feszültségszintekre vonatkoznak. Egy PVC-cső alakváltozása 1 év alatt, 15 MPa (15 N/mm²) terhelő feszültség mellett a következő: a **6.4. ábra** vízszintes tengelyén az 1 évhez tartozó abszcisszát a 15 MPa feszültséghez tartozó görbére felvetítve valamivel 1% alatti alakváltozás adódik. A pontos érték lineáris interpolációval számítva: 0,943%.



6.4. ábra

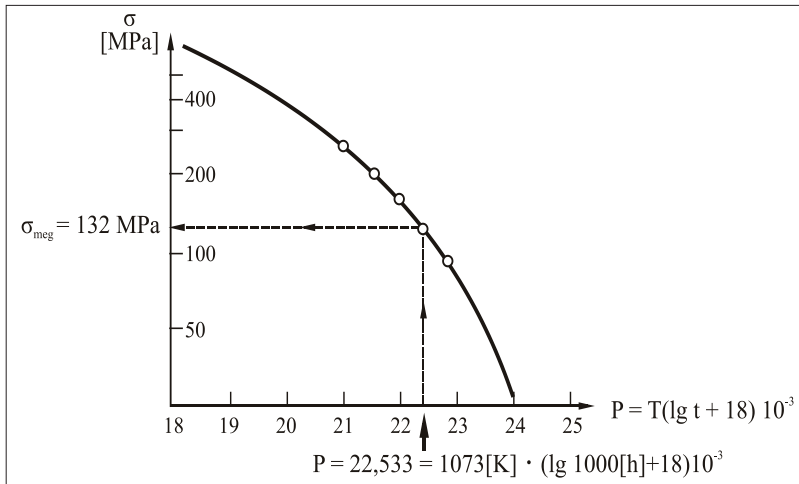
PVC kúszási görbéi 25 °C-on

A harmadik lehetséges megadási módot a **6.5. ábra** mutatja, melyen a Nimonic 90 ötvözet úgynevezett Larson–Miller-féle mestergörbéje látható. A Larson–Miller-paraméter alakja a következő:

$$P = T(\lg t + C),$$

ahol T az abszolút hőmérséklet K-ben, t az idő órában, C pedig az anyagra jellemző állandó, melynek értéke 15 és 25 között változhat (az ábra $C = 18$ értékre vonatkozik).

Ha például Nimonic 90 fantázianevű acélból készült szerkezet 800 °C-on 1000 óráig üzemel, akkor a megengedhető feszültség a **6.5. ábra** szerint 132 MPa.



6.5. ábra

Nimonic 90 ötvözet Larson–Miller-féle mestergörbéje

Feladat

Anyagkerámiák kiegészítésére szolgáló folyamatos üzemű kemencében mekkora átmérőjű láncszem alkalmazható, ha a láncot 15 kN nagyságú húzó igénybevétel terheli 600 °C-on? Feltételezzük, hogy a kemence 1 éven keresztül folyamatosan üzemel és a lánc anyaga revesséssel nem károsodik. A lánc húzófeszültségét és a Larson–Miller-paraméter közötti összefüggést a **6.6/a. ábra** mutatja.

Megoldás

Az egy év alatti üzemórák száma $t = 365 \times 24 = 8760$ óra. A Larson–Miller-paraméter értéke:

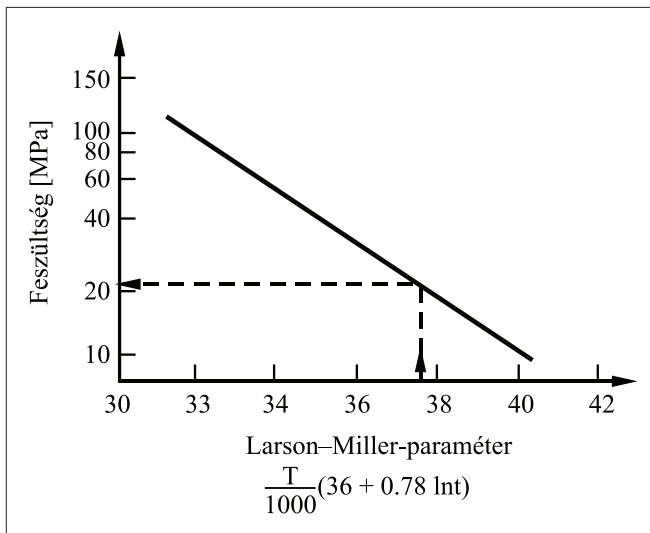
$$P = \frac{T \cdot (36 + 0,78 \cdot \ln t)}{1000} = \frac{873 \cdot (36 + 0,78 \cdot \ln 8760)}{1000} = 37,6.$$

A **6.6/a. ábra** alapján a Larson–Miller-paraméterhez tartozó feszültség $\sigma = 22$ MPa.

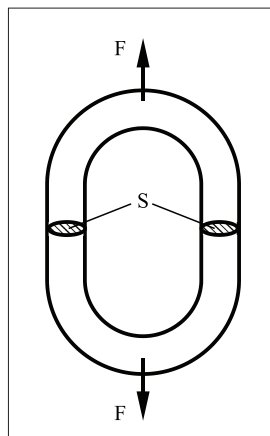
A láncszemet terhelő erőből (**6.6/b. ábra**) származó feszültség $\sigma = F/2 \times S$, ahol S a lánc huzalanyagának keresztmetszete.

Tehát a lánc szükséges keresztmetszete az adott erő és feszültség függvényében:

$$S = \frac{F}{2 \cdot \sigma} = \frac{15000}{2 \cdot 22} = 340,9 \text{ mm}^2.$$

**6.6/a. ábra**

A feszültség és a Larson–Miller-paraméter közötti összefüggés

**6.6/b. ábra**

A láncszem terhelése

A keresett átmérő a fenti értékekből a következőképpen számítható ki:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 340,9}{3,14}} = 20,8 \text{ mm.}$$

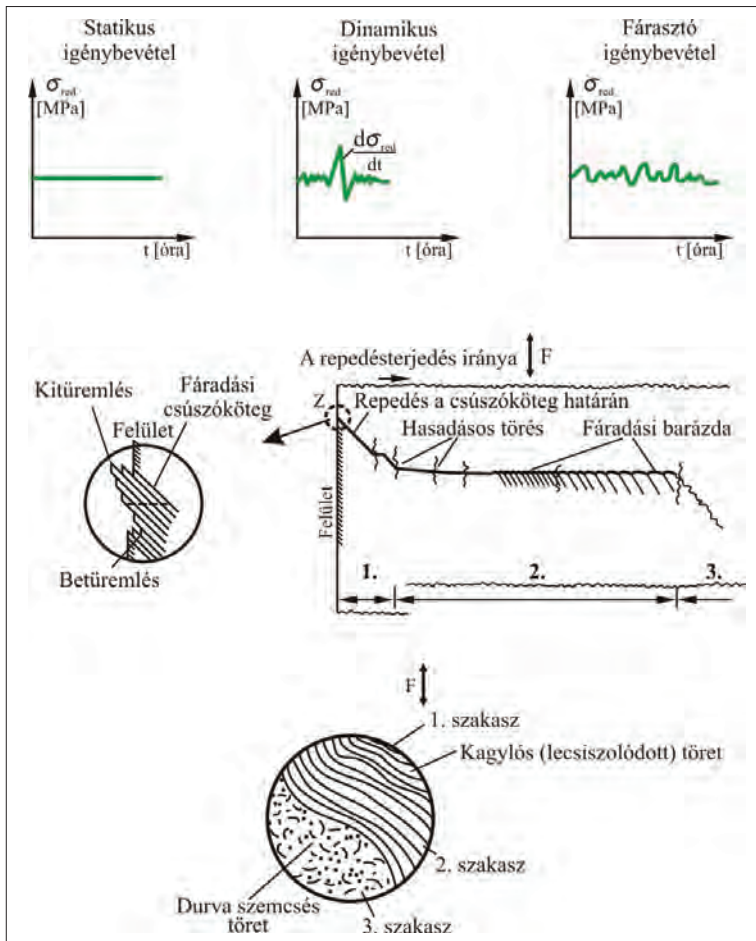
A láncszem kiszámított d átmérője csupán informatív jellegű, pontosabb számításához figyelembe kell venni a terhelő feszültséghez tartozó biztonsági tényezővel növelt értéket és az ehhez korreláló járatos huzalátmérőt.

6.3. A kifáradás jelensége, mérőszámai

Az anyag(ki)fáradás ciklikusan ismétlődő igénybevétel(ek) hatására, lokális anyagszerkezet-változás nyomán keletkező mikrorepedésből indul ki, szívós repedésterjedéssel folytatódik, majd (rideg)töréssel fejeződik be. A lokális szerkezetváltozás, illetve mikrorepedés a maximális feszültség helyén, azaz rendszerint az anyag, illetve az alkatrész felületén alakul ki.

A fáradt törés létrejötté tehát három szakaszra bontható (6.7/a. ábra):

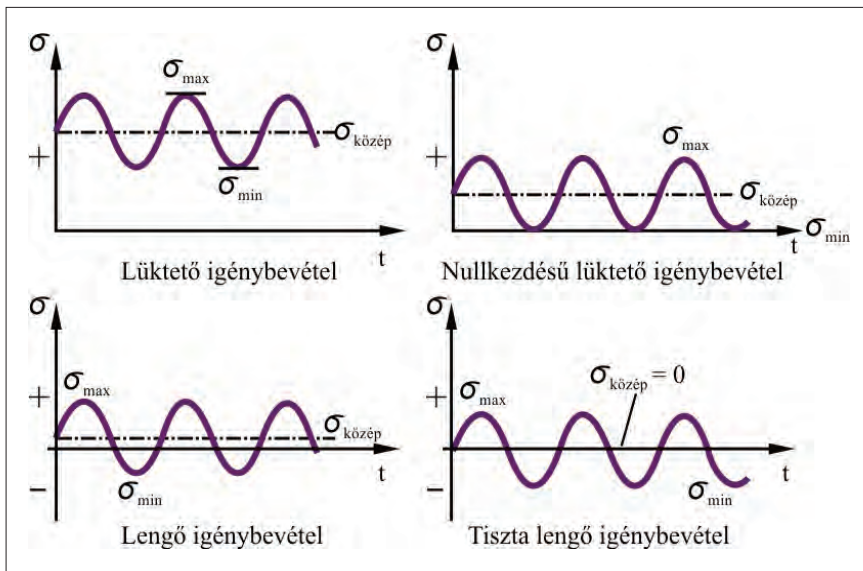
- a halmozódó károsodások eredményeként mikrorepedés keletkezik (1. szakasz),



6.7/a. ábra

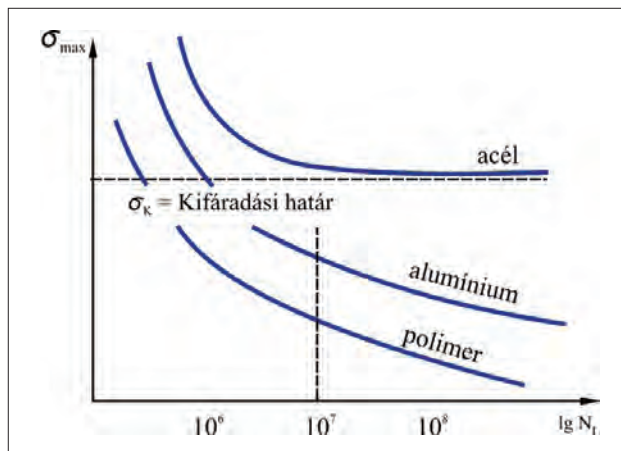
Fáradásos törés létrejöttének körülményei (I.)

6. A kúszás és a kifáradás elemzése számítással



6.7/b. ábra

Fáradásos törés létrejöttének körülményei (II.)



6.7/c. ábra

Fáradásos törés létrejöttének körülményei (III.)

- ez az ismétlődő igénybevételek hatására szívósan (energiaközlés mellett) terjed (2. szakasz),
- végül a maradó keresztmetszet ridegen (energiafelszabadulás mellett) törik (3. szakasz).

Ridegebb anyagok, illetve termékek élettartamát a mikrorepedések keletkezése és gyors terjedése határozza meg. Szívósabb anyagoknál – mikrorepedés jellegű hibát eleve feltételezve – a második szakasz, azaz a repedésterjesztés nagyobb energiaigénye mérvadó.

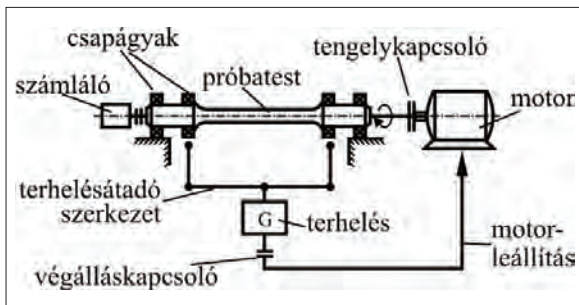
Fáradást kiváltó „minuszos” feszültség időbeli változását a **6.7/b. ábra** szemlélteti, azaz egy $\sigma_m = \sigma_{\text{közép}}$ közép feszültség „körül” $\pm \sigma_a = 0,5(\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}})$ feszültségamplitúdó ingadozik (közel) periodikusan. A feszültség az anyagban alakváltozást okoz, mely lehet tisztán rugalmas, vagy ha az amplitúdó nagyobb, akkor rugalmas-képlékeny. Az előző esetben a törésig elviselt igénybevételi ciklusok száma (N_f) jóval nagyobb, mint az utóbbinál.

Ezek szerint a fáradási folyamatoknak két alaptípusa van:

1. Kis ciklusszámú (Coffin–Manson-féle) fáradás ($N_t < 103-104$), melynek során az igénybevétel a folyáshatár feletti ($\sigma_{\text{max}} \geq R_{p0,2}$), illetve az alakváltozás rugalmas-képlékeny, és a tönkremenetelt az anyag belsejében keletkező repedések kiterjedése jelenti. Ez fordulhat elő pl. az időnként leállított, majd újraindított vegyipari vagy energiaipari nyomástartó edények (tartályok) és csővezetékek ún. feszültséggyűjtő helyein (keresztmetszet-változások, hegesztési csomópontok stb.).
2. Nagy ciklusszámú (Wöhler-féle) fáradás ($N_t \gg 103-104$), melynek során az igénybevétel a folyáshatárnál kisebb ($\sigma_{\text{max}} < R_{p0,2}$), illetve az alakváltozás általában rugalmas, és a törést felületi elváltozásokból, hibákból, lokális feszültséggyűjtő (kismértékű képlékeny alakváltozást okozható) konstrukciós részletekből kiinduló repedésterjedés okozza. Ez jellemző pl. a legtöbb forgó gépalkatrész (tengely, csapág, kerék stb.) vagy kötélpálya sodronykötél huzaljainak fáradására.

Egy anyag, illetve a belőle készített termék fáradásállósága annál jobb, minél finomabb szemcséjű, minél kevésbé tartalmaz külső makroszerkezeti bemenetéseket, azaz feszültséggyűjtő helyeket (lekerekítés nélküli sarkokat, hirtelen keresztmetszet-változásokat → „éles sarok kezdődő törés!”) és belső makroszerkezeti inhomogenitásokat (folytonossági hiányokat, anyagi heterogenitásokat), minél kedvezőbb a felületi feszültségállapota (pl. húzó helyett nyomó) és kisebb a felületi érdessége.

Egy anyag Wöhler-görbéjét (abból a kifáradási határát vagy adott feszültség-szinthez tartozó élettartamát, azaz törési ciklusszámát) pl. a **6.8/a. ábrán** látható elrendezésben lehet meghatározni. Ez az ún. forgó-hajlító fárasztóvizsgálat, melynél a „tengelyként” funkcionáló próbatestet csapágakba illesztik.



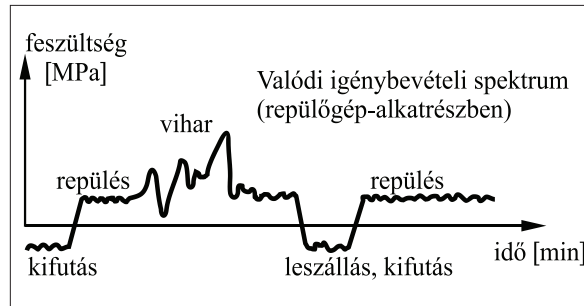
6.8/a. ábra
Fárasztóvizsgálat (I.)

A forgó próbatestre a középső csapágyak közvetítik a rájuk akasztott változtatható mennyiségű súlyokból származó terhelést. A forgatás és az állandó függesztési irányú súlyterhelés eredőjeként a próbatest semleges szálon kívüli anyagi pontjaiban a kialakuló feszültség iránya félfordulatonként meg fog változni, egy maximális (pozitív húzó) és egy minimális (negatív nyomó) feszültség között minden értéket felvéve. Ilyen módon megvalósítható a ciklikusan változó „minuszos” igénybevétel, közelítve a valós üzemeltetési körülményeket. Egy-egy σ_i feszültség szinten (súlyterhelésnél) a próbatestet törésig „járatják”, regisztrálva az igénybevételi ciklusok (N_{ti}) számát. Különböző σ_i igénybevételi próbatestekből álló mérési sorozat eredményei alapján a görbe megszerkeszthető, és a folyáshatárnál mindig kisebb kifaradási határ, illetve az élettartam kijelölhető.

A Wöhler-görbék és a belőlük származtatható kifaradási határ, illetve élettartam nem tekinthető olyan általános érvényű anyagjellemzőnek, mint amilyen pl. a folyáshatár vagy a szakítószilárdság. Ugyanis a fárasztóvizsgálatok eredményeit sok paraméter befolyásolja:

- az igénybevétel jellege (húzó-nyomó, hajlító, csavaró),
- az igénybevételi mód (feszültség előjelét [+ húzó, illetve – nyomó] változtató lengő, azonos feszültség előjelű lüktető),
- a próbatestek geometriája és felületminősége,
- a mértékadó, illetve megengedett törési valószínűségi szint (max. 1–5%),
- a ciklikus igénybevétel frekvenciája és amplitúdója,
- a terhelésfelfutás sebessége,
- a hőmérséklet,
- az esetleges korróziós hatás.

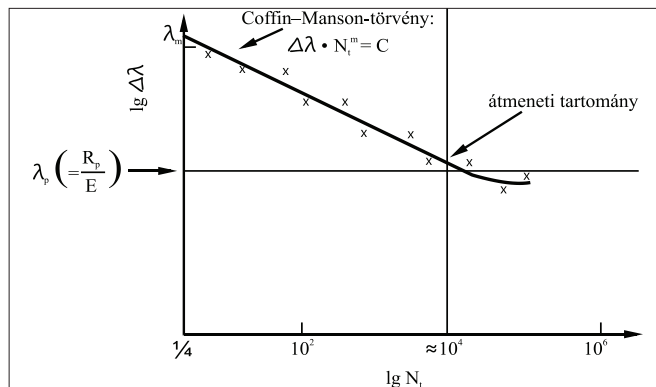
Ezért a Wöhler-görbéből csak meghatározott igénybevételi jellemzők fennállása esetén érvényes fáradásállósági adatot lehet számításba venni. Ez azt is



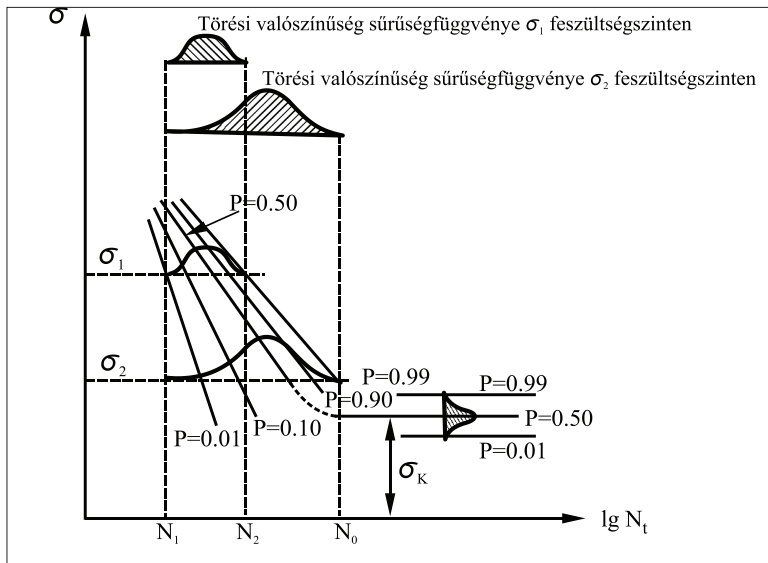
6.8/b. ábra
Fárasztóvizsgálat (II.)

jelenti, hogy eltérő esetekben újabb fárasztóvizsgálatokra és Wöhler-görbe felvételekre van szükség.

Megbízhatóbb információkat ad a valós terhelést szimuláló, számítógépvezérelt fárasztógépeken végzett modell- vagy szerkezetfárasztás. Itt a valóságos terhelés-idő függvényt, mint előzetesen (üzemelő gépen) kimért és rögzített „programot játsszák le” a tényleges üzemidő változó terhelési szakaszainak megfelelően, ahogyan azt a **6.8/b. ábrán** látható példa egyszerűsítve mutatja. Kis ciklusszámú fárasztóvizsgálatok során az összetartozó $\Delta\lambda$ alakváltozási tartomány (1%-nál nagyobb nyúlásamplitúdó) – törésig tartó ciklusszám (N_t) értékpárokat meghatározva, kettős logaritmusos koordináta-rendszerben megszerkeszthető az m és C anyagállandókkal felírt $\Delta\lambda \cdot N_t^m = C$ egyenletű Coffin–Manson-egyenes (**6.9. ábra**). Az m a károsodás intenzitásával, a C a valódi szakadási nyúlással függ össze. Az elfogadott gyakorlat szerint üzemszerűen pl. $N_{meg} = N_t/20$ ciklusszám engedhető meg kis ciklusszámú fáradás esetére.



6.9. ábra
Coffin–Manson-egyenes



6.10. ábra

Valószínűségi alapon értelmezett Wöhler-görbék

6.4. Kifáradási esettanulmányok elemzése számítással

A kifáradás jelenségének gyakorlatias értelmezése azon alapul, hogy mind a terhelés, mind az élettartam valószínűségi változó, együttes vizsgálatuk használható a törési valószínűség becslésére. A **6.10. ábrán** a Wöhler-görbe statisztikus szemlélet alapján szerkesztett alakja látható. A diagram felső része azt mutatja, hogy adott feszültség szinten több próbatestet elfárasztva és az élettartamok (törésig elviselt igénybevételek száma, N_t) gyakoriságát ábrázolva a Wöhler-görbe egy adott törési valószínűséghez tartozó pontjai hogyan szerkeszthetők meg. Az ábrában szerepelnek a $p = 0,01$; $0,1$; $0,5$; $0,9$ és $0,99$ törési valószínűséghez tartozó Wöhler-görbék is.

Esetenként az 50%-os törési valószínűséghez ($p = 0,5$) rendelik hozzá a kifáradási határt, de a fokozottan veszélyes szerkezetekben az alkatrészeket sokkal kisebb, azaz 1% ($p = 0,01$) törési valószínűségre méretezik. Ez azt jelenti, hogy ha a szerkezet σ_1 feszültség szinten üzemel, akkor 1% annak a valószínűsége, hogy N_1 -nél kisebb igénybevételi számnál eltörjön.

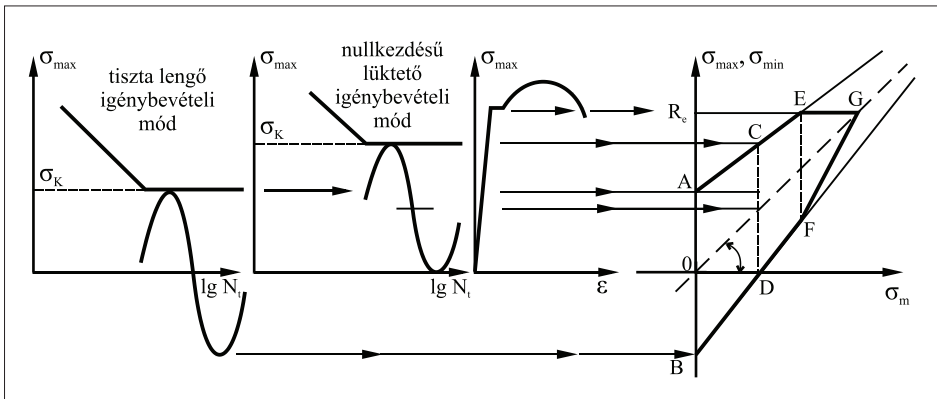
A vizsgálatok igen nagy idő-, anyag- (próbatest-) és energiaigénye indokoltá teszi olyan információ(forrás)k keresését, amelyek viszonylag kisszámú vizsgálatot igényelnek, mégis szélesebb körben alkalmazhatók, továbbá a fáradás-

sal való tönkremenetel esetleges veszélyére már a tervezés szakaszában figyelmeztetnek.

A Smith-féle diagramok terjedtek el leginkább, amelyek a még megengedhető σ_{\max} illetve σ_{\min} értékeket ábrázolják a σ_m közép feszültség függvényében, különböző igénybevételi módokra. A diagramok tengelykeresztjének vízszintesén tehát a közép feszültség, a függőlegesén pedig a feszültségek lehetséges szélső értékei szerepelnek.

Pl. egy húzó-nyomó fáradásra érvényes diagram megszerkesztéséhez elegendő két fárasztó- és egy szakítóvizsgálat-sorozatot (a statisztikai megbízhatóság érdekében) elvégezni, azaz két Wöhler-görbét és egy szakítódiagramot felvenni (6.11. ábra). A „tisztá” (szimmetrikus) lengő igénybevételi móddal végzett fárasztóvizsgálatból adódó értékpár (A, B) és a nullkezdésű lüktető igénybevétellel meghatározott adatok (C, D) maximumaira (A, C) és minimumaira (B, D) egyenesek rajzolhatók. Ezek közé az 0 (null) pontból kiinduló 45° meredekségű egyenes húzható, mely ugyanúgy jelöli a σ_m közép feszültséget, mint a vízszintes tengely.

Tekintettel arra, hogy a folyáshatár feletti igénybevételek tervezésnél nem jöhetnek számításba, a statikus szakítóvizsgálattal meghatározott és a függőleges tengelyen bejelölt R_e folyáshatár értéktől vízszintes húzható a 45° -os egyenessel való metszésig (G). A maximális feszültségeket jelölő egyenes és a 45° -os egyenes metszéspontját (E), függőleges irányban „levetítve” a minimális feszültségek egyenesére, adódik a G kezdőpontból rajzolendő egyenes F végpontja. A gyakorlat szempontjából általában elegendő a „húzó” oldali A-C-E-G-F-D-B diagramrészt (biztonsági terület határvonalat) megszerkeszteni.



6.11. ábra

Smith-féle biztonsági diagram szerkesztése

6. A kúszás és a kifáradás elemzése számítással

Egy adott fárasztó hatás szélső értékeit a 45°-os egyenesre (mint „középvo-nalra”) szimmetrikusan bejelölve megállapítható, hogy az igénybevétel fáradást (fáradt törést) okoz-e vagy sem, azaz a biztonsági területen kívül is vagy csak azon belül található az előforduló feszültségértékek.

Az ilyen módon meghatározott biztonsági diagram (biztonsági terület) tehát sokféle igénybevételi módra, de egyfajta igénybevételi jellegre (példánkban hú-zás-nyomásra) érvényes. Más esetekre külön kell megszerkeszteni.

Feladat

Adottak a következő kísérleti eredmények:

- $\sigma_m = 0; \pm\sigma_a = 270 \text{ MPa};$
Törési számok: $5 \times 10^4; 3,7 \times 10^4; 7,2 \times 10^4; 6,1 \times 10^4; 4,3 \times 10^4;$
- $\sigma_m = 0; \pm\sigma_a = 230 \text{ MPa};$
Törési számok: $2,8 \times 10^5; 1,1 \times 10^5; 1,7 \times 10^5; 2,0 \times 10^5; 2,4 \times 10^5;$
 $3,6 \times 10^5; 1,4 \times 10^5;$
- $\sigma_{\min} = 0; \pm\sigma_{\max} = 420 \text{ MPa};$
Törési számok: $5,9 \times 10^4; 4,2 \times 10^4; 4,8 \times 10^4; 4,5 \times 10^4; 3,6 \times 10^4;$
- $\sigma_{\min} = 0; \pm\sigma_{\max} = 380 \text{ MPa};$
Törési számok: $1,2 \times 10^5; 2,3 \times 10^5; 2,8 \times 10^5; 2,0 \times 10^5; 2,5 \times 10^5;$
 $3,6 \times 10^5; 1,5 \times 10^5.$

Szerkesszünk Smith-féle biztonsági diagramot!

Megoldás

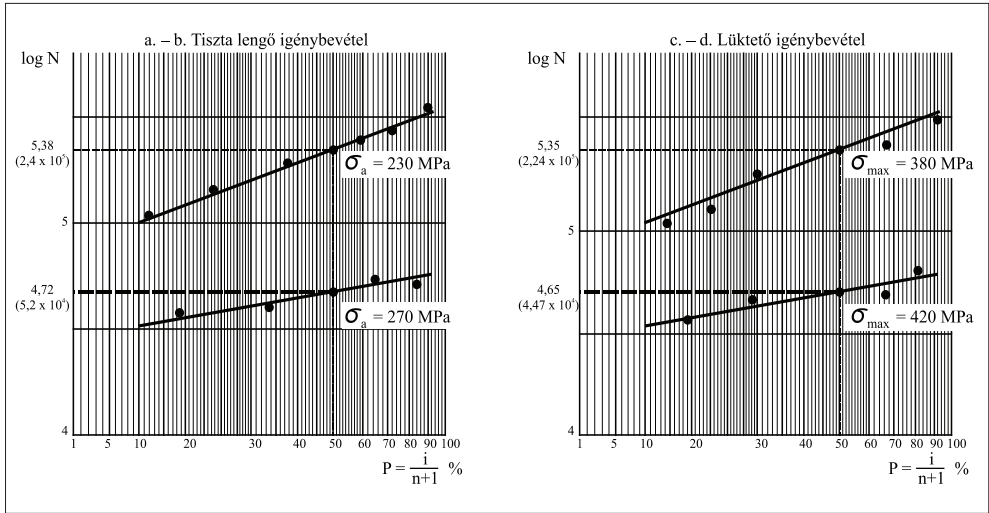
- A törési számokból $\log N_t$ értékek kiszámítása.
- Az egyes kísérleti csoportokon belül a $\log N_t$ értékek nagyság szerinti sorba rendezése.
- A sorba rendezett $\log N_t$ értékekhez törési valószínűségek kiszámítása:

$$p = \frac{i}{n+1}$$

i = sorrendszám; n = az egyes csoportokon belül a mérési adatok száma.

- A méréspontok ábrázolása Gauss-papíron (összesen 4 kísérleti csoportra) a **6.12. ábra** szerint:
 $p = 0,5$ (50%-os) törési valószínűséghez tartozó $\log N_{0,5}$ grafikus meghatá-rozása (lehet p más értékét is alapul venni, pl. $p = 0,1$); $N_{0,5}$ visszakeresése.
- Log-normál papíron ábrázoljuk az igénybevételi szinteket, a törési számo-kat, s behúzzuk az 50% törési valószínűségeket jellemző Wöhler- görbéket (illetve amilyen p értéket választottunk) (**6.13.-6.14. ábra**).

6. A kúszás és a kifáradás elemzése számítással

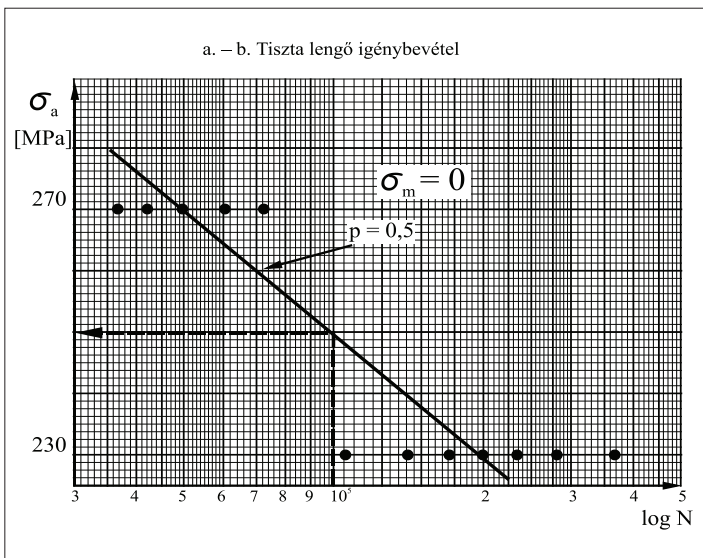


6.12. ábra

A négy kísérlet méréspontjainak ábrázolása Gauss-papíron

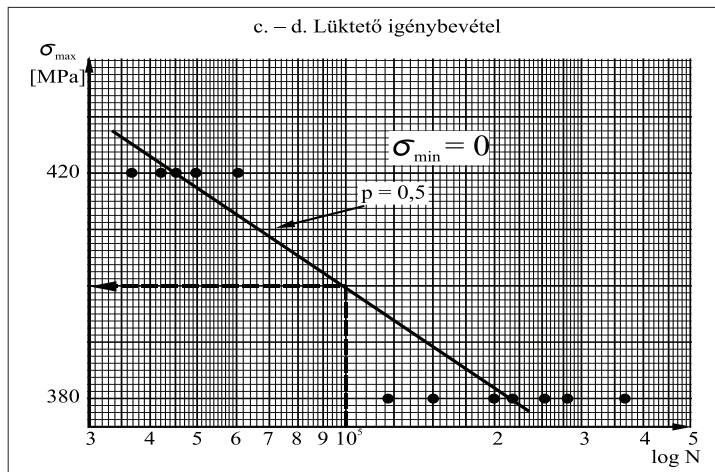
VI. Végül megszerkesztjük a biztonsági diagramot a fenti adatokból tetszőleges, pl. a 10^5 igénybevételi számra.

A kiegészítő statikus vizsgálati adat: $R_{p0,2} = 500$ MPa.



6.13. ábra

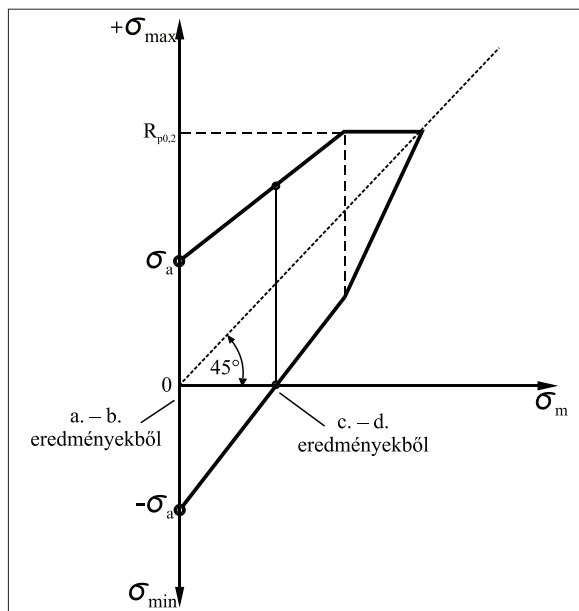
Igénybevételi szintek, törési számok, Wöhler-görbe ($\pm\sigma_a = 230$ MPa, 270 MPa)



6.14. ábra

Igénybevételi szintek, törési számok, Wöhler-görbe ($\pm\sigma_a = 380 \text{ MPa}, 420 \text{ MPa}$)

A **6.15. ábra** 10^5 igénybevételi számra, $p = 0,5$ valószínűségre értelmezett biztonsági diagram. Ha tehát egy σ_m közép feszültség mellett a σ_{\max} és σ_{\min} értékek a diagram határvonalain belül vannak, akkor az adott valószínűségi szinten a fáradásos törés kizárható.



6.15. ábra

A biztonsági diagram ($\pm\sigma_a = 230 \text{ MPa}, 270 \text{ MPa}, 380 \text{ MPa}, 420 \text{ MPa}$)

7. ANYAGAZONOSÍTÓ PRÓBÁK ÉS SZEMPONTOK

Vannak esetek, amikor nincs mód (eszközhiány, illetve a vizsgálatok költség- és időigényessége miatt), vagy nincs szükség pontos összetétel-meghatározáson alapuló anyagazonosításra. Ilyenkor szóba jöhetnek olyan egyszerű és gyors eljárások, amelyekkel az „ismeretlen” anyag tulajdonságaira, majd azokból az anyag típusára következtethetünk.

Sok esetben

- a szín (fény, csillogás),
- metszet- vagy töretfelületi kép (makroszerkezeti zárványosság, pórusosság),
- karcolhatóság (keménység),
- hajlíthatóság (képlékenység),
- mágnesezhetőség (ferromágnesesség) vagy
- a vegyi anyagokkal szembeni viselkedés (vegyszerállóság) „árulkodik” arról, hogy mi a kérdéses anyag.

7.1. Szemrevételezésen (szín, fény, metszet- vagy töretkép) alapuló anyagazonosítás

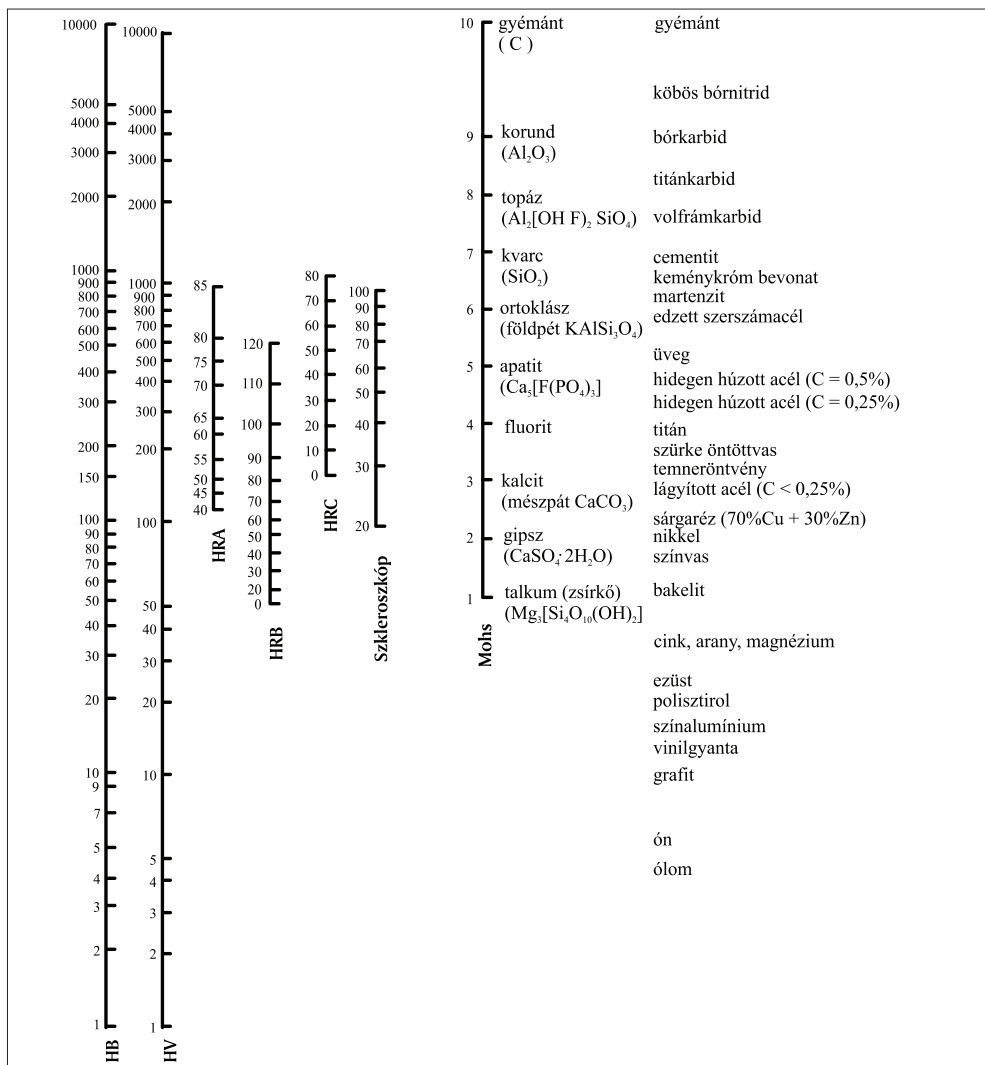
A fémek (a sárga színű aranyt és a vörös színű rezet leszámítva) fémes színűek, azaz világosabb vagy sötétebb szürkék. A csillogás, a fémes fény az összefüggő fémfelület nagy fényvisszaverő képessége miatt alakul ki. A nagyon finom fémpor majdnem teljesen fekete, mert elnyeli a látható fehér fény összetevőit (különböző hullámhosszú fotonjait).

A fématomokat a közöttük levő fémes kötés kapcsolja össze. A fémes kötés esetében a rácspontokban elhelyezkedő atomtörzsek beadnak egyes elektronokat a „közösbe”, a fémrácsba. Ezek az elektronok nem kötődnek egyik atomtörzshöz sem (delokalizált elektronok), így könnyen elmozdulhatnak és gerjesztődhetnek a fémrácsban. (Az elmozdulás következménye az elektromos vezetés.) A gerjesztés során a fémrács a fény minden színének (minden hullámhosszúságú foton energiájának) egy részét elnyeli, ezzel magyarázható a szürkés árnyalat. A fény másik részét vissza is veri, ezzel pedig a csillogás.

7.2. Mechanikai és kémiai elvű anyagazonosítás

A mechanikai anyagazonosítás a hajlíthatóság, illetve a karcolhatóság; a kémiai pedig az oldhatóság, illetve a reakciókészség értékelésén alapul.

Természetes keramikus anyagok, az ásványok Mohs-féle keménységi skálája tíz ásványból áll. Minden nagyobb keménységű (nagyobb skálaértékű) ásvány karcolja az előtte álló (kisebb skálaértékű) anyagokat. Tehát egyfajta karcolási keménység szerint rendezi sorrendbe az ésvényokat.



7.1. ábra
Keménységskálák összehasonlítása

Az első három még körömmel is karcolható (késsel könnyen), a 4-es és 5-ös acéllal nehezen karcolható, 6-tól felfelé késsel nem karcolhatók, viszont az üveget karcolják, míg a 7-es és a 8-as acéllal ütve szikrázik. A **7.1. ábra** a Mohs-skálát hasonlítja össze a 4. fejezetben említett keménységmérések jellegzetes értékeivel, hozzárendelve néhány szerkezeti anyagot is.

7.3. Műanyagok égetési (hevítési) próbájának elvégzése

A műanyagok azonosításánál jó szolgálatot tesz – kis mennyiségű mintán – a lángban végzett égetési, illetve a kémcsőben végzett hevítési próba, esetleg az oldószeres próba. Ehhez kapcsolódóan a **7.1. táblázat** tartalmaz megfigyelési szempontokat néhány ismert polimer értékelésével.

7.1. tábla. Műanyagok azonosítási szempontjai

| műanyag neve (és jele) | lángban végzett égetési próba kapcsán a műanyag | | | | kémcsőben végzett hevítési próba kapcsán a műanyag | |
|---------------------------|--|--|---|---|---|----------------------|
| | égése lángban | égése lángon kívül | égéstermékének szaga | égetés utáni felületi képe | termikus viselkedése | gőzének kémhatása |
| vulkánfiber (VF) | világító lánggal | tovább ég | égett papírhoz hasonló | elszenesedett | bomlik, szenesedik | savas |
| metil-cellulóz (MC) | világító lánggal | tovább ég, sárga világító lánggal | égett papírhoz hasonló | elszenesedett | olvad, szenesedik | savas |
| etil-cellulóz (EC) | világító lánggal | tovább ég, gyengén világító lánggal, lecseppen | égett papírhoz hasonló | elszenesedett | olvad, szenesedik | savas |
| benzil cellulóz (BC) | világító lánggal | tovább ég, kormozó világító lánggal | készerű mandulához hasonló | elszenesedett | olvad, szenesedik | savas |
| cellulóz-nitrát (CN) | hirtelen ellobbanással, puffanással | (tovább ég) | nitrózus gőzökhöz hasonló | (elszenesedett) | bomlik | erősen savas |
| cellulóz-acetát (CA) | nem kormozó lánggal buborékolva, pattogva | tovább ég | ecetsavhoz + égett papírhoz hasonló | elszenesedett | olvad, bomlik, feketedik | savas |
| polietilén (PE) | gyengén világító, kék magvú sárga lánggal | tovább ég, égve lecsöpög, gyengén kormol | paraffinszerű, kialudt gyertyához hasonló | bomlásmentes, enyhén csillagó | olvad, szintelenedik | semleges |
| polipropilén (PP) | gyengén világító, kék magvú sárga lánggal | tovább ég, égve lecsöpög, gyengén kormol | polietilénénél kellemetlenebb | bomlásmentes, enyhén csillagó | olvad, szintelenedik | semleges |
| polivinilklorid (PVC) | világos kormoló sárga lánggal, zöldes habbal | magától kialszik | szürös, sósavat idéző | erősen elszenesedett | bomlik, sötétbamára színeződik | erősen savas |
| polisztirol (PS) | felhőnyagosodó olvadékkal | tovább ég, erősen kormolva, nyúlisan csöpög | édeskés | erősen elszenesedett | olvad, bomlik, sárgára színeződik | semleges |
| poliuretán (PUR) | sárgán világító lánggal | lecsöpög, habosodik | izocianátszerű, szürös szagú | hőlyagos | olvad, bomlik | lúgos |
| szilikon (SIL) | izzással | fehér füst keletkezése mellett kialszik | semleges | repedezett, enyhén barnás | bomlik | semleges |
| fenoplaszt (FP) | nehezen ég | parázslík, kialszik | formaiint idéző „bakelit szag” | fehér szélű rétegekké szétválók, szenesedik | olvad, felülvodik, pattog, bomlik | lúgos |
| aminoplaszt (UF) | pattogva, nehezen ég | parázslík | ammóniát idéző undorító | fehér szélű rétegekké szétválók, szenesedik | olvad, felülvodik, pattog, bomlik, sötéedik | lúgos |

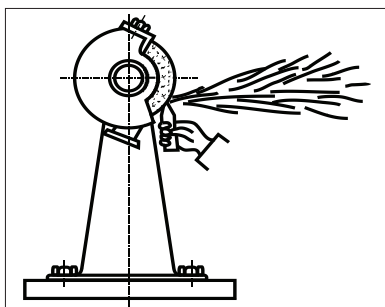
7.4. Az anyagvizsgálat szikrapróbás módszere (Bermann-szikrapróba)

A szikrapróba vasötvözetek – elsősorban az acélok – gyors minőségi ellenőrzését teszi lehetővé. Tehát a szikrapróbás anyagvizsgálat gyors, egyszerű, gyakorlatias összetétel-ellenőrzési módszer, éppen ezért széles körben elterjedt. Az eljárás csupán hozzávetőleges anyagösszetételi eredményre utalhat.

Az acél anyagvizsgálat szikrapróbás módszerének feltalálója Bermann Miksa

(1861–1925). A próbát köszörüléssel végzik, és a kapott szikrakép alapján állapítható meg az anyag fajtája és minősége.

Az eljárás lényege, hogy a vizsgálandó anyagot 30-60 μm szemcse nagyságú, keramikus kötésű, 20-30 m/s kerületi sebességgel forgó köszörűkoronghoz (7.2. ábra) érintjük (nyomjuk). A csiszolókorong éles kristályszemcséi apró forgácsokat vágnak ki az acélból, melyek fénynyalábok alakjában jelennek meg. A nagy súrlódás miatt a leszakított szemcsék felizzanak, ezért a széntartalmuk elég. Az égést fényjelenség kíséri. Az izzó szemcsét fényes csíknak látjuk, ha az acél széntartalma kicsi. Ha nagyobb a széntartalom, a szemcsék szétrobbannak. A széntartalom további növekedésével egyre több a szétrobbant szemcse. A szétrobbanó szemcsék képét nevezzük szikraképnek.



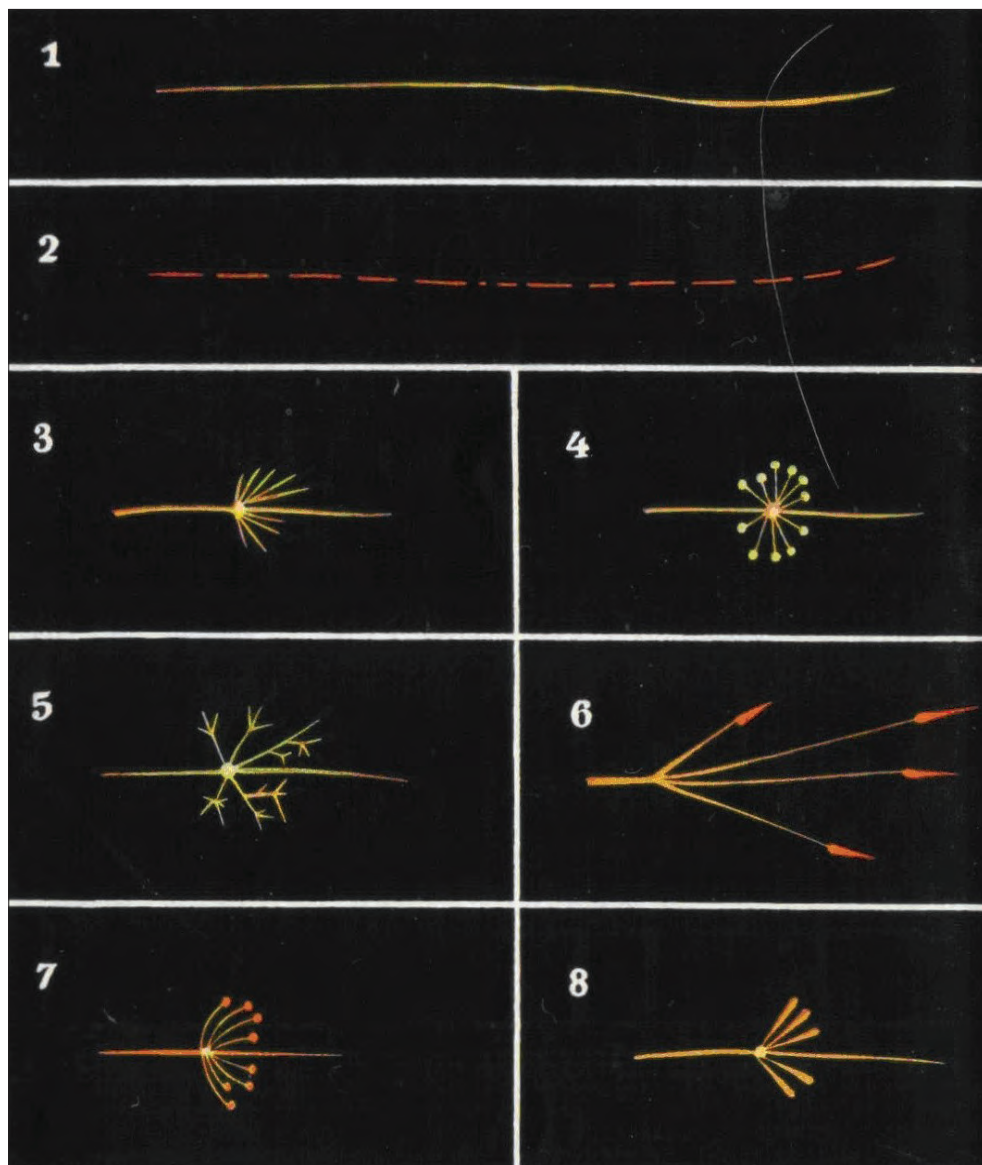
7.2. ábra

A szikrakép előállítása köszörűgéppel

Ismert összetételű összehasonlító etalonok segítségével pontosabb eredményhez jutunk. Az összehasonlításnál megfigyeljük a szikrakép színét, nagyságát, alakját, a sugárvégződéseket és az egymásból kiágazó szikrákat. A szikrapróbák alkalmazhatóságát a 7.2. tábla jellemzi.

7.2. tábla. A szikrapróba alkalmazhatósága

| C-acélok | 0,2% C-különbségek könnyen becsülhetők. |
|-----------------|--|
| Ötvözött acélok | A 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 ausztenites 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. |



1 – egyenes vonalú, 2 – szaggatott, 3 – tüskés, 4 – csillag alakú robbanásos, 5 – csokor alakú robbanásos, 6 – lándzsavégű, 7 – szeg alakú, 8 – buzogányvégű

7.3. ábra

A szikrasugarak jellegzetes alakjai

A szikrasugarak alakját a vasrészecske tömege, a csiszolókorong (kerületi) sebessége és a nyomás nagysága befolyásolja.

7. Anyagazonosító próbák és szempontok

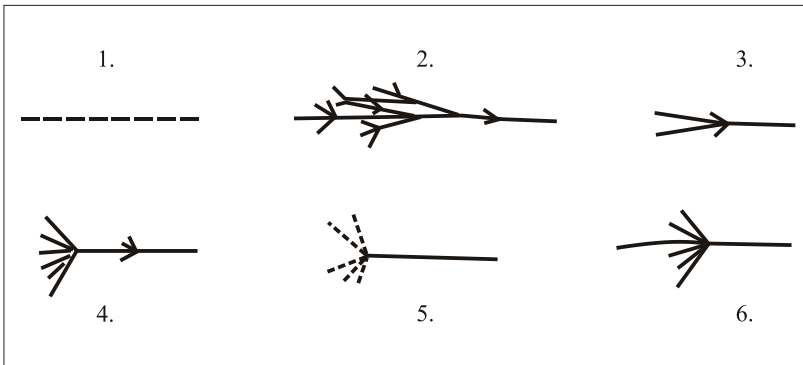
Minél nagyobb az acél karbontartalma, annál jobban csökken az olvadáspont, ezért a szikrakép is nagyobb intenzitású lesz, az acélszemcsék hőfoka az olvadáspont fölé emelkedik, és az íven bojtos szikrák keletkeznek.

A szikranyaláb rövidebb lesz, ha az ötvözőkben a szilícium (Si) a domináns, mert a Si gyorsabban oxidálódik, mint a karbon, a vasszemcse olvadási hőfoka a karbon elégeése előtt megemelkedik, izzása világosabb.

A szikrasugarak jellegzetes alakjait a **7.3. ábra** szemlélteti.

A szikravizsgálat elvégzésekor az összehasonlításnál a szikrák következő fontos jellemzőit figyeljük:

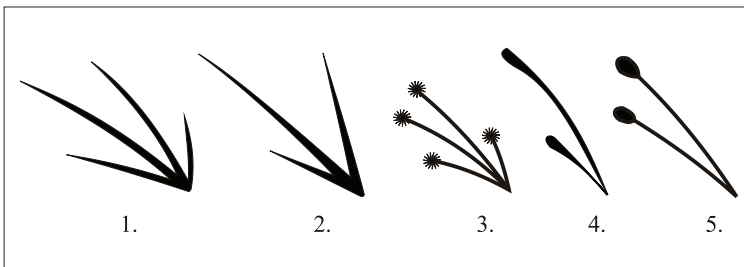
1. A szikra pályája (**7.4. ábra**), ami lehet: szaggatott (1), elágazó (2), egymást keresztező (3), pálya mentén robbanásos (4), pálya végén robbanásos (5), pálya végén folytonos (6).



7.4. ábra

A szikra pályájának típusai

2. A robbanás formáját: nyíl (1), lándzsa (2), csokor (3), botvégű (4), csepp (5), ahogy a **7.5. ábra** szemlélteti.



7.5. ábra

A robbanás formái

Ugyanakkor figyelniünk kell a robbanások sűrűségére, méretére, színére és fényerősségére. A 7.6. ábra összefoglalja a szikrák legfontosabb tulajdonságait.

| | |
|--|--|
| | <p>Szénben szegény acél, $C = 12\%$, hosszan kifutó, buzogány alakú szikrákkal és sima fényvonalakkal, semmi csillagocska. Színe: halványsárga</p> |
| | <p>Gépacél, közepes keménységű, $C = 0,5\%$, hosszan kifutó, buzogány alakú fénycsíkokkal, amelyek kevés apró, egyszerű csillagocska képződésekor elágaznak. Színe: világossárga</p> |
| | <p>Középkemény szerszámacél, ötvözetlen, $C = 0,9\%$, ez már alig mutat buzogány alakú szikrákat, ellenben számos soksugarú csillagocskát. Színe: világossárga</p> |
| | <p>Kemény szerszámanyag, ötvözetlen, $C = 1,3\%$, élénk szikrakévéket tüntet fel, amelyek nagyon sok finom, világossárga csillagocskából állnak: ezek többszörösen megoszlanak. Színe: világossárga</p> |
| | <p>Mangánacél, a szikravonalra merőlegesen erősen elágazó és igen sok sugárnyalábot mutat. Színe: fehéressárga</p> |

7.6/a. ábra

Anyagmeghatározás szikrapróbával (I.)

7. Anyagazonosító próbák és szempontok

| | |
|--|--|
| | <p>Gyorsacél, tartalmaz kb.16% wolframot, 4% krómot, C = 0,7%. Többszörösen megszakított, vonalkás szikravonalal gömbszerű és olykor elkanyarodó végszikkákkal. Egyes szikrák kevés sugarú, kissé világosabb csillagocsákra robbannak szét. Színe: barnászörös vonalak, sötétvörös</p> |
| | <p>Wolframacél, C = 1,3%, szikrakép hasonló az előbbihez, de különálló szikravonalakkal, amelyek erősen robbanó világos csillagocsákban végződnek. A sugárnyalábok gömbökben végződnek. Színe: sötétvörös vonalak, sárga</p> |
| | <p>Szilíciumacél. Hosszú, világossárga, buzogányban végződő fényvonalak, közöttük elszórtan szikrakévék Színe: világossárgától fehéressárgáig</p> |
| | <p>Krómacél. Sötétsárga, közben piros szikravonalak, amelyek gömbben végződnek. Színe: sötétsárga</p> |
| | <p>Nikkel-krómacél. Hosszúra nyúlt, buzogány alakú szikravonalak, itt-ott tüskenyalábok. Színe: sárga</p> |

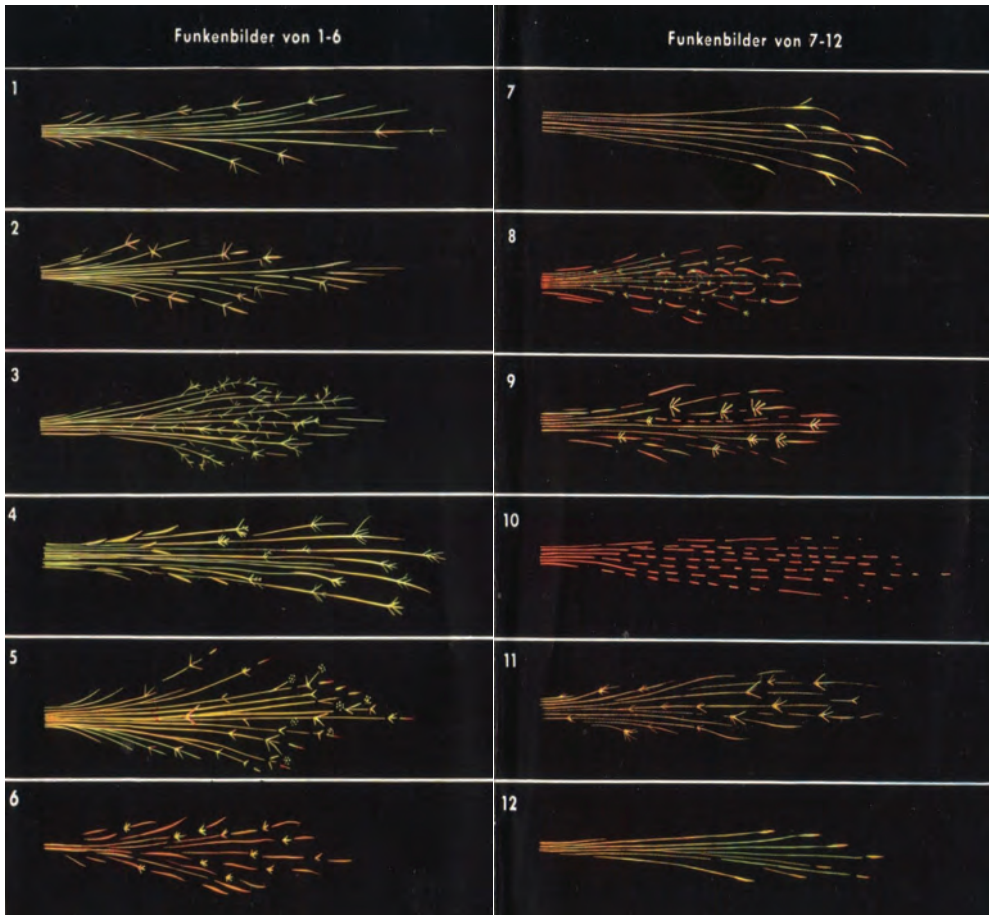
7.6/b. ábra

Anyagmeghatározás szikrapróbával (II.)

Példák az acél jellemző szikraképezére

A forgó köszörűkoronghoz szorított acél szikraképe (a szikrák alakja, mérete, száma, színe, repülési távolsága) alapján besorolható az acél egy jellemző összetétel-kategóriába. A **7.7/b. ábra** a különféle széntartalmú és minőségű acélok szikrái között tesz különbséget.

A szikraképek jellegzetes alakjait a **7.7/a. ábra** szemlélteti.

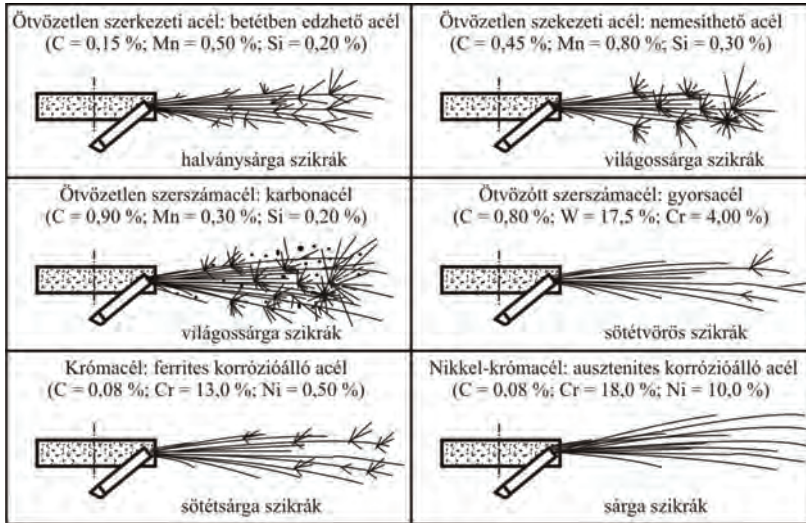


7.7/a. ábra

Anyagmeghatározás szikraképei

- 1 – Betétben edzhető acél (0,14% C), 2 – Ötvözetlen szerszámacél (0,5% C), 3 – Ötvözetlen szerszámacél (1% C), 4 – Mn-Si ötvöztetésű szerszámacél (0,55% C, 1,0% Si, 1,0% Mn), 5 – Mn-nal ötvözött szerszámacél (0,5% C, 1,4% Cr, 0,7% Mn, 0,3% V), 6 – Cr-W ötvöztetésű szerszámacél (1% C, 1% Mn, 1% Cr, 1,2% W), 7 – Cr-W-Si ötvöztetésű szerszámacél (0,5% C, 1% Si, 1,2% Cr, 2,0% W), 8 – nagy Cr tartalmú szerszámacél (2% C, 12% Cr, 0,8% W), 9 – Gyorsacél (0,9% C, 4% Cr, 2,6% Mo, 2,5% V, 3,0% W), 10 – Gyorsacél (0,75% C, 4% Cr, 18% W, 1% V), 11 – Korrozíóálló acél (0,4% C, 14% Cr), 12 – Saválló acél (0,1% C, 18% Cr, 8% Ni).

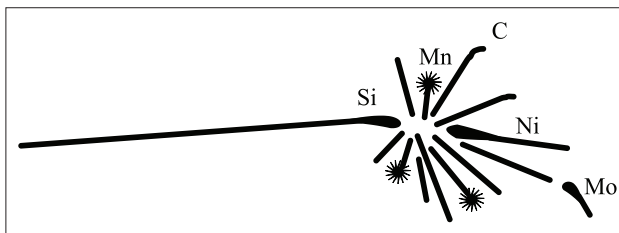
7. Anyagazonosító próbák és szempontok



7.7/b. ábra
Acélok szikrapróbája

Az ötvözőelemek hatása a szikra alakjára

A különböző ötvözőelemek hatását a szikra alakjára a 7.8. ábra szemlélteti.











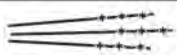

7.8. ábra
Az ötvözőelemek hatása a szikra alakjára

A szikrapróba feltételei

- az ismeretlen acélt és az etalonpróbát azonos erővel kell a köszörűkő felületéhez érinteni;
- a köszörűkő felülete tiszta és szabályos legyen;
- a köszörűkő forgási sebessége ne haladja meg a 20 m/s-ot, egyébként a szikra követése nehézkessé válik;

- az ismeretlen acél és az etalonpróba azonos hőkezelési állapotban kell hogy legyen (normalizált vagy edzett).

Összefoglalóan a **7.9. ábra** mutat példákat egyszerűen kivitelezhető anyagazonosító próbákra, illetve szempontokra.

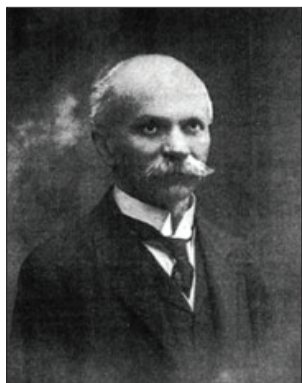
| Mágnesezhetőség  | Reszelővel próbálva  | Szín | Köszörűszikrakép  | Anyag |
|--|--|--------------------------|---|--------------------------|
| Mágneses | Lágy | sötétszürke | hosszú sárga vonal  | normál acél, acélöntvény |
| | Kemény | sötétszürke | hosszú sárga/fehér vonal, szikrával  | nagy szén tart. acél |
| | Lágy | galambszürke öntvény | vörös, kövér vonal  | öntöttvas |
| | Kemény | fényes, szürke | sárga/vörös vastag vonal  | 13% Cr-acél |
| Nem vagy gyengén mágneses | Lágy | fényes ezüstszürke | finom vörös/sárga szikra  | Ni-Cr típusú Inconel |
| Nem mágneses | Lágy | nagyon világos, fényes | nem látható szikra | alumínium |
| | Lágy | sötétvörös/sárga, fényes | nem látható szikra | rézötvözet |
| | Kemény | galambszürke öntvény | sárga/fehér vonal és szikra  | 14% mangán-acél |
| | Lágy | fényes ezüst, szürke | sárga/vörös vastag vonal  | rozsdamentes acél |

7.9. ábra

Segédlet fémes anyagok azonosításához

8. AKIRÓL, AMIRŐL MÉG ÉRDEMES TUDNI

8.1. Bermann Miksa (1861–1925) az „acélanatómus”



Bermann Miksa az acél-anyagvizsgálat szikrapróbas módszerének feltalálójaként vált ismertté. Az általa kidolgozott eljárás praktikus, gyors és egyszerű jellege miatt igen közismert, viszont életéről, személyiségéről keveset tudni.

1861-ben született Győrben, családja nagy szegénységben élt, apja bádogosmesterként dolgozott, és tíz gyermeket nevelt. Ezért Miksa felsőfokú tanulmányaihoz maga gyűjtötte össze a pénzt, magántanítványokat vállalt, ösztöndíjakat pályázott. A Budapesti Műegyetemen szerzett gépészmérnöki oklevelet, tanulmányai befejezése után a Magyar Állami Vasút munkatársa lett. Segédmérnökként kezdte pályáját, és onnan ment nyugdíjba főfelügyelőként.

Tehetséges szakember volt, több területen is sikerült maradandót alkotnia, de nem volt része sem anyagi, sem szakmai elismerésben.

Tudományos tevékenysége három szakterületre terjed ki.

Pályája elején a szerszámacélok gyártásával és hőkezelésével foglalkozott: kutatásaiban vizsgálta az ötvözőanyagok hatását a szerszámacélok tulajdonságaira (kovácsolhatóságára, hegeszthetőségére, szívósságára, rugalmasságára), valamint az edzés körülményeit, feltételeit.

Új típusú hőkezelőkemencét tervezett, amelyben kiküszöbölte a fémfelület szennyeződését a vegyes tüzelés és a szabályozható üzemmód bevezetésével, mellyel lehetővé tette a megeresztés elvégzését. Az általa kidolgozott módszert leginkább olyan öntvények gyártására használták, amelyek vékony falvastagsággal rendelkeznek.

A következő terület, ahol maradandót alkotott, a hegesztés volt. A kovácshesztés, az autogénhegesztés (lánghegesztés), valamint az autogénvágás (lángvágás) elméletével és gyakorlatával is foglalkozott. Több tanulmányban és egy könyvben is publikálta kutatásait német nyelven.

Bermann kimutatta, hogy amennyiben a hegesztést nem megfelelően végzik, a fémfelületek nem hegednek össze megfelelően, mert az oxidrétegek megakadályozzák. Ahhoz, hogy a kohéziós kapcsolat megvalósuljon, elengedhetetlen: az acélban levő anyagok általi redukciója, az összehegesztendő felületeket borító oxidrétegeket redukálják, valamint a hegesztendő tárgyakra gyakorolt megfelelő nagyságú külső nyomás. Az acélban a szilícium, a mangán, a foszfor és a karbonból keletkező szén-monoxid a legaktívabb redukáló elemek. Bermann kísérletei során rájött, hogy a salakképzők folyós állapotban feloldják a hegesztőfelületen képződő vas-oxidokat, és ezzel elősegíthető a hegesztés sikeressége, a salak pedig kalapácsolással könnyen eltávolítható. A hegesztés sikerességét csavarópróbákkal ellenőrizte.

A harmadik terület, amely tudományos tevékenységének legjelentősebb részét képezi, az acélnak szikrapróba alapján történő meghatározása volt. Bermann célja az volt, hogy egy gyorsan végezhető, olcsó, egyszerű és az anyag roncsolódását elkerülő módszert találjon a korábbi metallográfiai vizsgálatokhoz képest, amellyel be lehet azonosítani vasanyagokat. Saját bevallása szerint a szikrapróbához a szerszámacél-vizsgálatok és a csiszolókorongok összehasonlítása során végzett kutatásai vezették. Rájött, hogy a szikraképek összevetéséhez fénykép-etalonsorozatok készítésére lenne szükség, de nem álltak a rendelkezésére megfelelő eszközök, ezért találmányát külföldön fejlesztették, tökéletesítették tovább, az ő érdemeit pedig elfeledték. Találmányát, a szikrapróbát ma is alkalmazzák az anyagok azonosításának egyszerű, gyors módszereként, viszont mára már pontosabb, de költségesebb módszerek is vannak, amelyeket kiegészít az általa feltalált eljárás.

Bermann Miksa két alkalommal is képviselte munkahelyét a Nemzetközi Anyagvizsgáló Egyesület kongresszusain: 1906-ban Brüsszelben, majd 1909-ben Koppenhágában. Egyetlen szabadalma, amely a szerszámacélgyártásra vonatkozik, lajstromszáma 73692-es, 1915. április 19-én volt bejelentve. Az általa javasolt gyorsacél, amely kis mennyiségben tartalmaz bórt, molibdént, vanádiumot, titánt, kobaltot és krómot, a drága, volfrámtartalmú anyagok helyettesítésére volt alkalmas.

8. Akiről, amiről még érdemes tudni

1925-ben, 64 éves korában halt meg, a halálakor megjelent nekrológok „acél-anatómusként”, „a búzakarász alakú szikra csendes figyelőjeként” emlékeznek róla.

Sok magyar feltalálónak volt hozzá hasonló sorsa: a megfelelő szponzor, anyagi háttér hiánya miatt feledésbe merültek, holott alapos, kitartó munkát végeztek, tele voltak ötletekkel, találékonysággal.

Forrás:

Longa Péterné: *Bermann Miksa – szikrapróba*. Iparjogvédelmi és Szerzőijogi Szemle, 103/5. (1998).

8.2. August Brinell (1849–1925)

Johan August Brinell (1849. november 21.–1925. november 17.) svéd gépészmérnök, az általa feltalált eljárás volt az első elterjedt keménységmérés a mérnöki gyakorlatban. Középiskolába Jönköpingbe járt, majd műszaki főiskolát végzett Borasban 1871-ben.

Karrierjét mérnökként kezdte, majd 1882-ben főmérnök lett a Fagersta Műveknél, itt kezdte el komolyabb kutatásait.

1902-ben tagja lett a Svéd Királyi Tudományos Akadémiának, egy évvel később, 1903-ban a Jernkontoret főmérnökévé nevezték ki, amely a svéd acélkereskedés egyesülete volt. 1914-ig dolgozott itt, majd 1919-ben a Svéd Királyi Mérnöki Tudományos Akadémiának is tagja lett.

Kezdetben (mikroszkóp hiányában) szabadszemmel tanulmányozta a töretfelületek alapján az acélok szerkezetében melegítés-hűtés hatására végbemenő változásokat. Az összegyűjtött tapasztalatai alapján jelentette meg tanulmányait, a témakörben 1885-ben közölte az első jelentős írását, egy időben Floris Osmonddal, noha egymástól függetlenül jutottak ugyanazokra a következtetésekre. De Osmond neve lett ismertebb, mivel ő vizsgálataihoz mikroszkópot is használt, mégis Brinell gyakorlati mikroszkópikus megfigyeléseinek volt meghatározó szerepük abban, hogy az ipar befogadta a mikroszerkezeti megfigyeléseket.

1925-ben hunyt el Stockholmban. Számos kitüntetésben, elismerésben volt része. Nevéhez a keménységmérési elven kívül egy jelenség elnevezése is fűződik: a brinelleződés (Brinelling) a felületek érintkezésekor, a nagy terhelés révén keletkezett lenyomat (például a golyóscsapágy golyója által a gördülőtestben).



Forrás:

http://muszermania.blog.hu/2010/04/02/a_kemenysegmeres_tortenete_brinell

8.3. Georges Charpy (1865–1945)



Georges Charpy, teljes nevén Georges Augustin Albert Charpy (1865. szeptember 1.–1945. november 25.), francia fizikus, a Charpy-féle vizsgálat feltalálója. Szülővárosában Lyonban kezdte tanulmányait, majd 1885–1887 között az École Polytechnique hallgatója volt, ahol tengerészeti tüzérségből szerzett oklevelet. Ugyanitt szerezte meg a doktori fokozatot a sós oldatok tömegével és térfogatával kapcsolatos kutatásáért.

1887-ben professzori állást kapott az École Monge-on. 1892-ben a Laboratoire Central de L'Artillerie de Marine (Tengerészeti Tüzérség Központi Laboratóriuma) munkatársa lett, 1898-ban pedig a Compagnie de Chatillon-Commentry (Chatillon-Commentry Vállalat) munkatársa, ahol idővel műszaki igazgatónak nevezték ki.

1919-ben a Compagnie des Aciéries de la Marine (Tengerészeti Acélgyár) igazgatóhelyettese és az École des Mines (Bányászati Egyetem), valamint az École Polytechnique professzora lett.

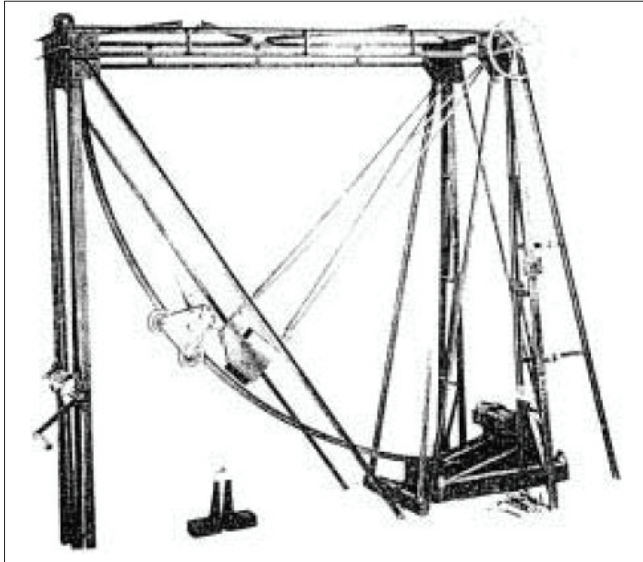
1945. november 25-én hunyt el Párizsban.

Nevéhez kapcsolódik a Charpy-féle ütvehajlító vizsgálat, melyet ő vezetett be az anyagok szívósságának meghatározása érdekében.

A vizsgálatot 1901-ben javasolta az Anyagvizsgálók Nemzetközi Egyesületének budapesti konferenciáján. Vizsgálatát 30×30 mm-es próbatesttel végezte, melynek 15 mm mélységű, és 4 mm átmérőjű bemetszését fúróval készítették. A 160 mm hosszú próbatest töréséhez 120 mm-es támaszköz mellett 200 mkp-os ütőmű használatára volt szükség. Ezt a **8.1. ábra** szemlélteti. Később a csökkenő próbatestméretek mellett 70, valamint 30 mkp-os ütőműveket használtak.

A mai ismeretek azt mutatják, hogy a nagyobb méretű próbatesteken végzett vizsgálatok hívebben tükrözték az anyagok ridegtörési hajlamát és azok viselkedését.

Ezeket a vizsgálatokat napjainkban már nemcsak acélon, hanem különböző műanyagokon és rideg keramikus anyagokon is végzik.



8.1. ábra

A Charpy által javasolt 200 mkp-os ütőmű

8.4. Poldi Öntöde – Karl Wittgenstein



A 4.3. fejezetben ismertetett Poldi-kalapácsos keménységmérő eljárás neve egy öntöde nevéhez kapcsolódik, ahol ezt az eljárást alkalmazták.

A Poldi Öntödét (Poldi Ironworks) Karl Wittgenstein alapította a Vojtěšská gyártelep közelébe. Előzményei közé tartozott, hogy 1845-ben szenet találtak Kladno környékén, és ekkor Vojtech Lana és a Klein testvérek megalapították a Vojtech Smelting Workst (Vojtech Öntöde). Majd 1857-ben megalakult a Prague Ironworks Company (Prágai Fémfeldolgozó

Vállalat), melynek 1877-ben az ausztriai Karl Wittgenstein lett az igazgatója, aki a Teplitzi Gyárban kezdte pályafutását. Vas és acél monopóliuma volt Bohémiában (mai Csehország) és Moráviában, továbbá barátja volt Andrew Carnegienek. Miután a Prague Ironworks Company igazgatója lett, 1889-ben megnyitotta saját vállalkozását, a Poldihütet 30 km-re Prágától. A gyár nevét az alapító felesége, Leopoldine Kallmus után kapta, akit Wittgenstein 1873-ban vett feleségül. 1893-ban a Poldi Öntöde létrehozott egy védjegyet, amelyen Leopoldine képmása volt, a feje fölött egy ötágú csillaggal. Az ötágú csillag azt szimbolizálta, hogy a vállalkozást mind az öt kontinensre szeretnék kiterjeszteni.



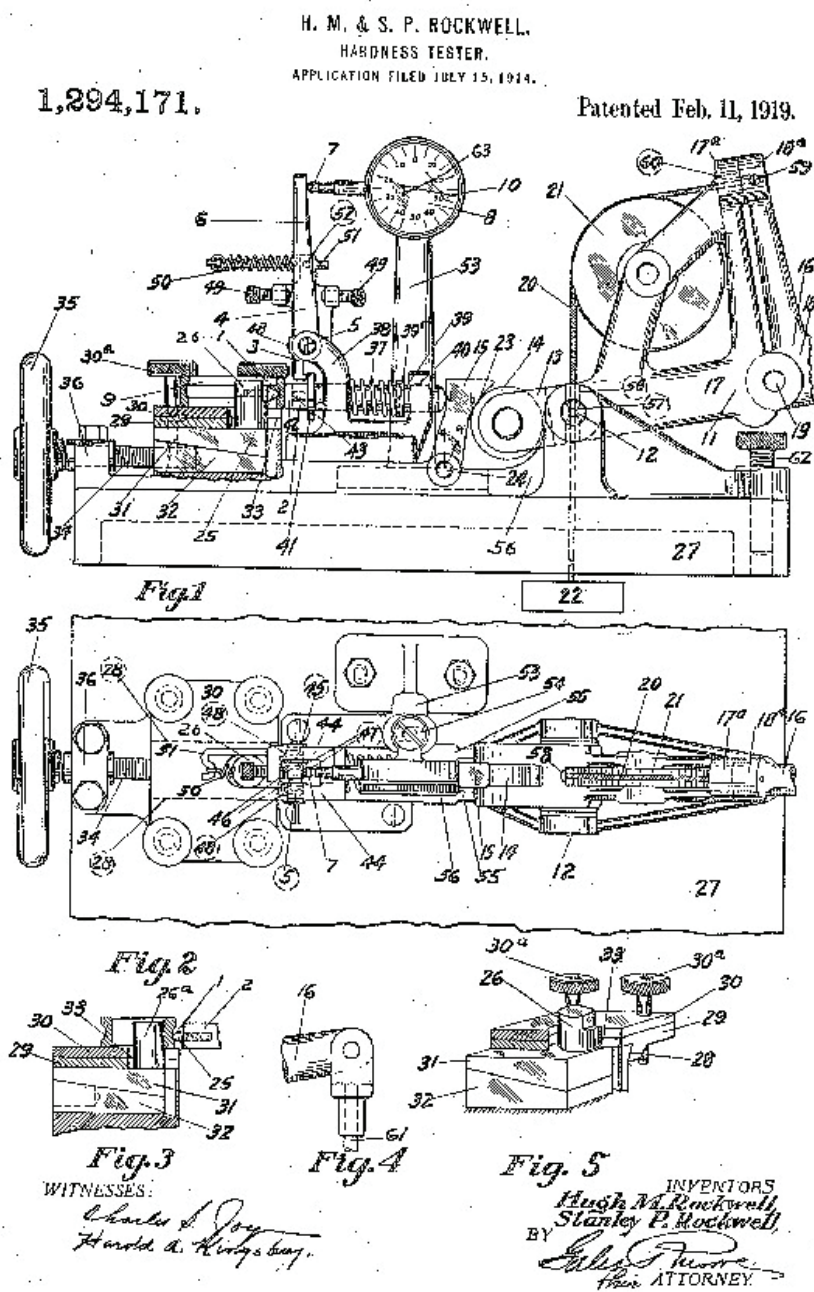
8.5. Hugh M. Rockwell (1890–1957) és Stanley P. Rockwell (1886–1940)



A Rockwell-keményységmérőt, amely egy mélységkülönbség mérő, a Conneticut állambeli Hugh M. Rockwell (1890–1957) és Stanley P. Rockwell (1886–1940) találta fel. Találmányukra 1914. július 15-én szabadalmi kérvényt adtak le. A készülék azzal a céllal készült, hogy a csapágyak házán végzett hőkezelés hatásait mérje. 1919. február 11-én elfogadták a szabadalmi kérésüket, száma: #1,294,171. Ebben az időben Hugh és Stanley Rockwell (nem állnak közvetlen rokoni kapcsolatban) a New Departure Manufacturing Co. vállalatnál dolgozott, amely a Conneticut állambeli Bristolban volt. A New Departure egy jelentős csapágygyártó cég volt, de 1916-ban része lett a United Motorsnak, majd a General Motors Corp.-nak. Miután elhagyta a connectuti céget, Stanley Rockwell a New York állami Syracuse-ban 1919. szeptember 11-én beadott egy új szabadalmi kérvényt egy tökéletesített keménységmérőre. Ezt a kérvényt el is fogadták 1924. november 18-án, #1,516,207-es számmal. Stanley West Hartfordba (Conneticut) költözött, és 1921-ben újra tökéletesített a keménységmérőjén. 1920-ban Charles H. Wilson készülékgyártóval működött együtt, a Wilson-Mauien Companytól (Wilson-Mauien Cég), azzal a céllal, hogy forgalmazza a találmányát, és hogy további standardizált tesztgépeket fejlesszen ki. Stanley körülbelül 1923-ban megalapított hőkezelő céget, a Stanley P. Rockwell Companyt, amely a mai napig működik Hartfordban, Conneticut államban.

Forrás:

http://muszermania.blog.hu/2010/12/23/a_kemenysegmeres_tortenete_rockwell



8.2. ábra
A Rockwell-féle szabadalom (részlet)

8.6. Vickers Ltd.



A Vickers-keménységmérőt Smith és Sandland találta fel 1924-ben, a Vickers Ltd vállalat munkatársaiként.

A Vickers-keménységmérő a Brinell-féle keménységmérésnek egy alternatívájaként készült. A Vickers cég acélöntödeként kezdte működését 1828-ban, Sheffieldben, alapítói Edward Vickers és apósa, George Naylor. A vállalkozás kezdetben acélöntvények gyártásával foglalkozott, majd rövid időn belül nagy hírnevet szerzett öntött harangjaival.

1927-ben a cég egybeolvadt a tyneside-i, Armstrong Whitworth által alapított, W. G. Armstrong műszaki vállalattal, és megalakult a Vickers-Armstrong Limited. Az 1960-as és 1970-es években a Vickers-Armstrong Limited négy nagyobb részéből hármat államosítottak: a repülőgyártást (1977-ben, 1960-tól számolva a British Aircraft Corporation részvényeinek 50%-a), a hajóépítést (Vickers Limited Shipbuilding Group 1977-ben) és az acéltermelést. A vállalat államosítás utáni maradványából alakult a Vickers Plc 1977-ben, melyet 1999-ben megvásárolt a Rolls-Royce, így a Vickers név 2004-ben elhalt.

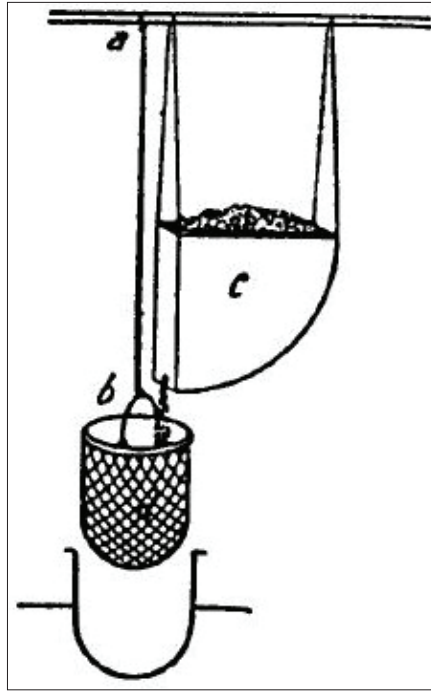
8.7. Leonardo da Vinci (1452–1519) szakítógépe



Leonardo da Vinci (1452. április 15. – 1519. május 2.) olasz származású polihisztor (festő, tudós, matematikus, hadmérnök, feltaláló, anatómus, szobrász, építész, zeneszerző, költő és író).

Leonardo da Vinciről köztudott, hogy nagyon sok ötlete, találmánya volt, nem volt idegen tőle a műszaki világ sem. Elképzelései közül néhány már csak a mi korunkban valósult meg, mint pl. a tank, a helikopter vagy az ejtőernyő. Viszont volt egy az anyagvizsgálathoz kapcsolódó találmánya, a szakítógép, melyet meg is épített, és kísérleteket végzett vele.

A találmány működésére a leleményesség jellemző: a „c”-vel jelölt tartályból homokot folytatunk az alatta lévő kosárba, amely egy acéldrótra van fölfüggesztve, ami maga a vizsgálandó minta. Ahogy a kosár súlya egy bizonyos tömeget nyomott, a drót elszakadt, és meg lehetett állapítani a szakításhoz szükséges tömeget. Az első vizsgált darab egy 2 braccio hosszú acéldrót volt. (A braccio a középkorban használt itáliai hosszmérték. Értéke változhat: a sienai gypjú-braccio 377.6 mm-étől a római kereskedőbraccio 878 mm-éig, azonban általában 600-700 mm közé esik. A mértékegységet főként a textilkereskedők használták. Leonardo da Vinci a mérései alatt a drótok hosszát változtatta (felezte, negyedelte), lejegyezte a „szakítóerőt” és a szakadás helyét is, méréseit többször megismételte. Arra a következtetésre jutott, hogy a rövidebb drótok elszakadásához nagyobb tömegű homok szükséges, tehát nagyobb a szakítószilárdság, ez látszólag ellentétben áll az ismereteinkkel. Két magyarázat van erre. Egy korábbi elmélet alapján Leonardo tévedésből vagy megtévesztésből hosszúságot írt az átmérő helyett, e szerint a logika szerint a kisebb átmérőjű dróthoz kevesebb homok szükséges.



8.3. ábra

A Leonardo-féle „szakítógépet”

Egy újabb elmélet alapján az ellentmondás abból fakad, hogy a mérések során bizonyos feltételekkel és elhanyagolásokkal élünk. Ez a legtöbb vizsgálatban nem okoz zavart, vagy az eredmények kiértékelésekor korrigálható. A fémek szakítóvizsgálatakor feltételezzük, hogy az anyag makroszkopikusan homogén. Ismerve a dróthúzás középkori technológiáját, valószínűleg a gyártás heterogén huzalokat eredményezett. Valószínűség-számítással feloldható az ellentmondás Leonardo eredményei és a mai ismereteink között, mivel feltételezhető hogy egy hosszabb drótdarabon könnyebben akad olyan gyenge pont, ahol a szakadás megtörténhet kisebb terhelés hatására, mint ha az eredeti anyagból álló homogén huzalt vizsgáljuk.

Forrás:

1. Parsons, William B.: *Engineers and Engineering in the Renaissance*. MIT Press, Cambridge, MA, 1939, 661.
2. Lund, R. Jay; Byrne, Joseph P.: *Leonardo Da Vinci's tensile strength tests: Implications for the discovery of engineering mechanics*. Civil. Eng. and Env. Syst., 2000, 1–8.

8.8. Alan Arnold Griffith (1893–1963) a törésmechanika megalapítója



Az angol Alan Arnold Griffith tekinthető a törésmechanika megalapítójának.

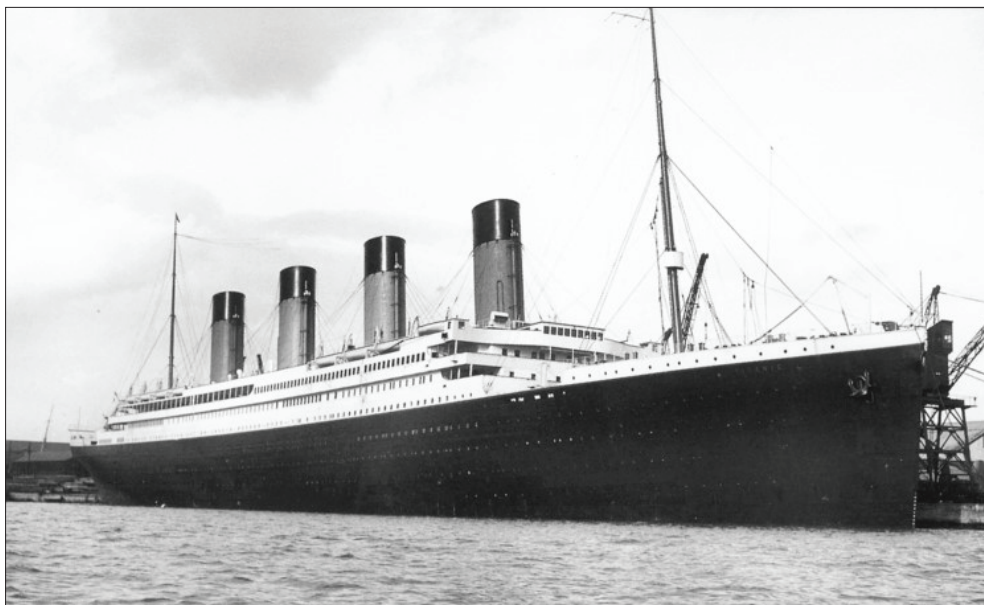
Griffith Londonban született 1893-ban. 1914-ben szerzett főiskolai mérnöki oklevelet, majd 1914-ben egyetemet és 1921-ben doktori címet a Liverpooli Egyetemen. 1915-ben került a Királyi Repülőgépgyárba, munkájával nagyban hozzájárult a repülőgéphajtások tanulmányozásához.

PhD dolgozatában végzett kutatásai alapján publikálta az üvegek törési szilárdságáról készített tanulmányát, amelynek eredményei ma is helytállnak. Közleményében leírja tapasztalatait, és részletesen kitér a tömör üveg felületi energiájának méréseire. Feltételezte, hogy akkor fordul elő repedésterjedés és törés a húzóterheléskor, ha a repedésterjedés egységnyi növekedésére jutó energiaveszteség nagyobb mint az új felületek létrehozására felhasznált felületi energia növekedése. Griffith kísérleteiben előre megrepesztett vékony falú gömböket és hengereket tett ki egyre növekvő nyomásnak, a kapott törési feszültségértékek alapján számolta ki a fajlagos energiaveszteséget, amely a felületi energia kétszerese, mivel töréskor két új felület jön létre. Lejegyezte, hogy a frissen húzott üvegben a repedésszerű hibáknak jelentéktelennek kell lenniük.

Közleménye alapján vált lehetővé a melegalakításnak, a folytonossági hiányok irányítottságának a gyakorlatban várt húzási iránnyal megegyező irányba való fordítása.

Legfontosabb eredménye a törési feszültségnek a repedésméret négyzetgyökének reciprokával való arányba állítása, amit napjainkban is használnak a törés okozta károsodások vizsgálatakor. Kiemelte, hogy elmélete csak üveg és egyéb rideg anyagok esetében működik, a szerkezeti fémek nagy részét kizárta.

8.9. A Titanic az anyagtudomány fókuszában



Megépítéskor a Titanicot a technika csodájának, egyszersmind elsüllyeszt-hetetlennek tartották. Mindenki tudja, mi történt: 1912. április 14-én, vasárnap, legelső útján az Atlanti-óceánon, 23:40-kor a hajó jéghegynek ütközött oldalról, mintegy súrlódva. Ennek következtében a hajótesten egy körülbelül száz méter hosszú nyílás keletkezett. A hajóban tizenöt különálló rekesz volt, amelynek pontosan az lett volna a szerepe, hogy sérülés esetén csupán a hajó egy kis részébe kerülhessen víz. A különösen hosszú törés miatt ezek közül hat éjfél körülre megtelt vízzel. Április 15-én, hétfőn egy óra húsz perckor a hajó dőlni kezdett előre és enyhén jobbra, a tat egyre kijebb emelkedett a vízből. Ekkor már a horgonylyukakon is ömlött bele a víz. Fél órával később a propellerek a levegőbe emelkedtek, mad két óra tíz perckor a hajó immár 45 fokos szögben állt, a hajóorr a víz alá került, a levegőben levő struktúrák pedig dezintegrálódni kezdtek, mert ebben a szögben az acélszerkezetre jutó terhelés meghaladta

annak teherbíró képességét. Az utólagos becslések szerint ekkor a hajóderékben az acélburkolat minden egyes négyzethüvelyknyi részére (kb. 6,45 négyzetcentiméter) nagyjából tizenöt tonna terhelés jutott. Nyolc perccel később a tizenhat ezer tonnás hajótest kettétört, a hajóorr azonnal elsüllyedt, a tat csaknem függőlegesen meredt ki a vízből, majd 02:20-kor az is a víz alá került. A tragédia kb. 1500 emberi életet követelt.

A roncs két darabban fekszik körülbelül négyezer méter mélységben az Atlanti-óceán fenekén. A hajóorr rész nagyjából épségben maradt, bár a tengerfenékbe való befúródási szöge miatt pont a sérült rész nem látható. A tat viszont csaknem felismerhetetlenségig roncsolódott, mert a bentrekedt levegő süllyedés közben az óriási víznyomás hatására a szerkezet jelentős részét szétvetette.



8.4. ábra

A Titanic roncsának egy részlete az Atlanti-óceán fenekén

A tragédia okait azóta is sokan és sokféle szempontból vizsgálják. Mi itt azokra az okokra térünk ki, amelyek az anyagminőségre és az anyag tulajdonságaira vonatkoznak. 1995-ben kiemelték az óceánfenékről egy körülbelül süteményes tál méretű acéldarabot, amely egykor a hajó oldallemezének része volt [5]. Ezen észleltek először olyan tulajdonságokat, amelyek arra utaltak, hogy rideg törés következett be. A hajók oldallemezei jellemző módon inkább görbülnek, deformálódnak, mintsem törnek. Ezen az acéldarabon viszont deformálódásnak semmilyen nyomát nem lelték, a szélei viszont, ahol a törés bekövetkezett élesek, recések voltak, akár a törött porceláné.

A fémdarabot korszerű metallográfiai vizsgálatnak vetették alá. Először a vegyi összetételt vizsgálták. Az eredmények többek között a következőket mutatják:

- az acél kéntartalma magas, a mangántartalom viszont alacsony;
- a foszfor- és az oxigéntartalom szintén magas;
- ez a kombináció ridegebbé teszi az acélt;
- az ütközéskor a Titanic $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os vízben haladt, ez a hőmérséklet az anyag rideg-képlékeny átmenete, így ridegen tört el.

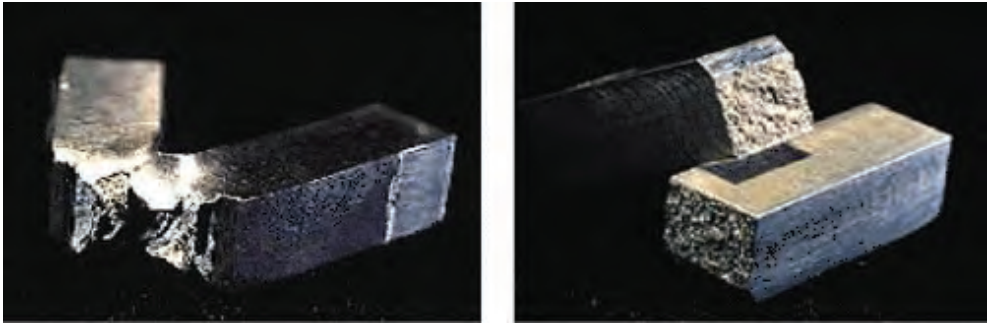
A metallográfiai vizsgálatokhoz [9] az acéllemez a szokásos módon készítették elő: zsírtalanították, polírozták, majd 2 százalékos Nital oldatban maratták. Hossz- és keresztirányú metszeteket vizsgáltak, amelyeket mikroszkópos vizsgálatnak vetettek alá. Referenciaként egy ASTM A36 típusú modern acél-szerkezetet is vizsgáltak. A mikroszerkezeti képen az látszott, hogy az acél szemcseszerkezete hosszirányban soros, illetve hogy számos mangán-szulfid zárvány van beleékelődve, ezeket a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat során energiadiszperzív Röntgen analizátorral (EDAX) azonosították. Perlitet mindkét metszetben találtak.

A borítólemez eredeti vastagsága 18,75 mm volt, de az erős korrózió miatt ezt az eredeti vastagságot nem lehetett vizsgálni, a vastagságot emiatt éppen harmadára, 6,25 milliméterre csökkentették.

Az így létrehozott 25 milliméter hosszú két próbatesten Charpy-féle ütvehajlító tesztet végeztek -55 és $+179\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérséklettartományban. Ehhez TINIUS OLSEN 84-es ütőművet használtak, amelynek 75 cm hosszú karján egy 30,34 kilogrammos inga végzi az ütést. Az összehasonlítás kedvéért a fentebb említett modern típusú acélmintán is elvégezték ugyanazt a tesztet. A Titanic-acél, illetve a modern acél $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on bekövetkezett törése közötti különbség egyértelműen látható a **8.5. ábrán**. Míg a modern acél jobbra hajlott, deformálódott, a Titanic-acél ridegen tört.

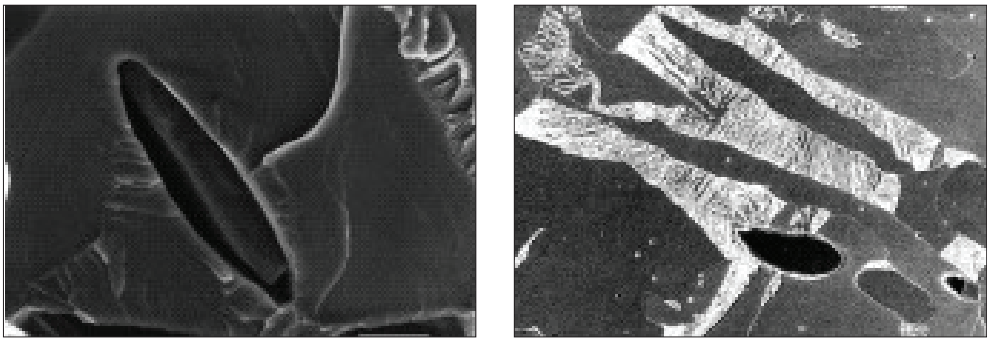
Az ütvehajlító vizsgálat során keletkezett törésfelületen szintén számos MnS-zárványt észleltek, ez a **8.6. ábrán** is látható. A **8.7. ábrán** szerepelnek a fajlagos ütőmunka változásai a hőmérséklet függvényében, a Titanic-acél hosszirányú, illetve keresztirányú metszete, illetve a modern, ASTM A36 típusú acél esetében.

A Charpy-féle teszt alapján megállapítható, hogy míg a modern acél rideg-képlékeny átmenete 20 Joule-nál $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra tehető, a Titanic-acél esetében ez hosszirányban $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, keresztirányban pedig már $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on bekövetkezik.



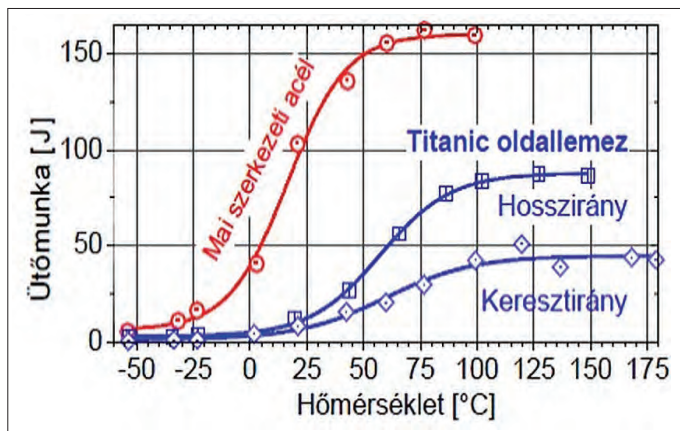
8.5. ábra

Modern acél (balra), illetve Titanic-acél (jobbra) törése 0 °C-on a Charpy-féle ütvehajlító teszt során [4]



8.6. ábra

Titanic-acél törésfelülete a MnS-zárványokkal



8.7. ábra

Az ütőmunka változásai a Charpy-féle teszt során, a hőmérséklet függvényében

Tudva, hogy a tengervíz a baleset idején $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű volt, egyértelmű, hogy a tragédia egyik oka az anyag minősége, amely ütközéskor ridegen tört.

Természetesen, a XX. század elején nem volt lehetőség ilyen pontosságú anyagminőség-vizsgálatokra, s ami még fontosabb, nem volt lehetőség arra, hogy különböző hőmérsékleteken vizsgálják az anyagokat. Márpedig azok tulajdonságait a hőmérséklet jelentősen befolyásolja. Bizonyos hőmérsékleteken az anyag szerkezete s ennek következtében a mechanikai tulajdonságai is megváltoznak. Ezért célszerű a vizsgálatokat olyan hőmérsékleti viszonyok között végezni, mint amilyenek között az adott alkatrész üzemelni fog. Az acél, amelyből a Titanic oldallemezeit gyártották, a kor legfejlettebb technológiai eljárásával készült. Mindennek ellenére az alacsony mangántartalom, illetve a magas oxigén-, foszfor- és kéntartalom miatt ütközéskor ridegen tört. A tragédiához egy alapvető tervezési hiba is hozzájárult: a hajótestben lévő tizenöt különálló rekeszt úgy tervezték, hogy ha bármelyik megsérül, azonnal le lehessen azt zárni, elszigetelve a többitől. Az ütközés után ez meg is történt, a rekeszek lezárása csak oldalirányban működött, a tetejük nyitott volt. Amikor a hajó dőlni kezdett, a teli rekeszekből a víz átömlött a többi rekeszbe is.

Fontos, hogy megértsük, melyek voltak a Titanic-katasztrófa okai, mert csak így vehetjük elejét annak, hogy a jövőben hasonló okokból ilyen balesetek következzenek be. Az 1912-es Atlanti-óceáni tragédia azt mutatja, hogy a luxusgőzös egy olyan korban épült meg, és tette meg első és egyben utolsó útját, amikor a hajóépítési technológia sokkal fejlettebb szinten állt, mint az akkori szakembereknek az anyagtudománnyal és anyagtechnológiával kapcsolatos ismeretei.

Források:

1. Ballard, R.: *Epilouge for Titanic*. National Geographic 1987. december.
2. Ballard, R.: *How we found Titanic*. National Geographic 1985. szeptember.
3. Ballard, R.: *The discovery of the Titanic*. Warner/Madison Press Books, Toronto, 1988.
4. Bassett, Vicki: *Causes and Effects of the Rapid Sinking of the Titanic*. Undergraduate Engineering Review, University of Wisconsin, Madison, WI, 1998.
5. Gannon, Robert: *What Really Sank the Titanic*. Popular Science, 246/2. (1995) 49–55.
6. Garzke, William H., David K. Brown, Arthur Saniford: *The Structural Failure of the Titanic*. Oceans Conference Record (IEEE), 3 (1994), 138–148.
7. Hill, Steve: *The Mystery of the Titanic: A Case of Brittle Fracture?* Materials World, 4/6. (1996) 334–335.

8. Akiról, amiről még érdemes tudni

8. Katherine Felkins, H.P. Leighly Jr., A. Jankovic: *The Royal Mail Ship Titanic: Did a Metallurgical Failure Cause a Night to Remember?* JOM 50/1. (1998) 12–18.
9. Légrády Lajos: *A Titanic borítólemezőnek metallográfiai vizsgálata*. Bányászati és kohászati lapok. Kohászat 131/9–10. 281–284.
10. Manning, George: *The Theory and Technique of Ship Design*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1956, 25–53.
11. Muckle, William: *Modern Naval Architecture*. W.P. Griffith & Sons, London, 1951, 121–125.
12. Rogers, Patrick, Anne-Marie O'Neill, Sophronia S. Gregory: *Sunken Dreams*. People. vol. 49, 10. sz. (1998), 44–51.

Melléklet

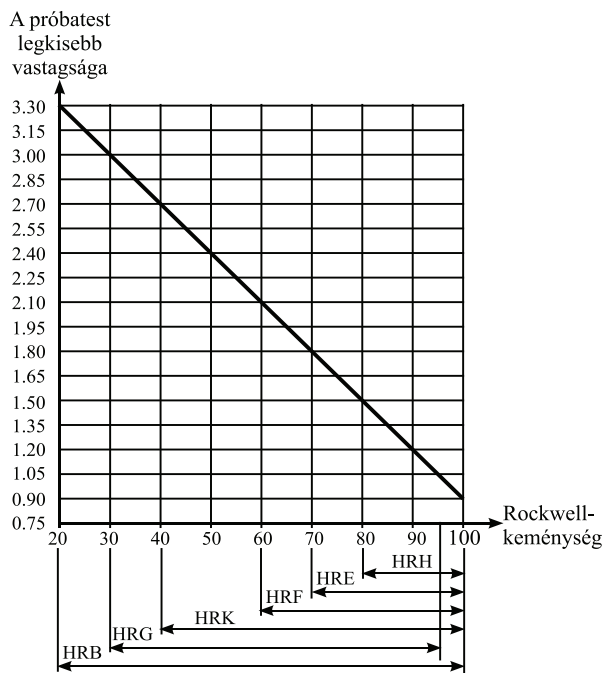
Rockwell-skálák

| Rockwell keménységi skála | Keménységi jel | Behatolótest típusa [mm] | Előterhelés F_0 [N] | Főterhelés F_1 [N] | Teljes terhelés F [N] | Alkalmazási terület (Rockwell-keménységmérés) |
|---|----------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---|
| A | HRA | Gyémántkúp | 98,07 | 490,3 | 588,4 | 20 HRA - 88 HRA |
| B | HRB | Golyó, F 1,5875 mm | 98,07 | 882,6 | 980,7 | 20 HRB - 100 HRB |
| C | HRC | Gyémántkúp | 98,07 | 1373 | 1471 | 20 HRC - 70 HRC |
| D | HRD | Gyémántkúp | 98,07 | 882,6 | 980,7 | 40 HRD - 77 HRD |
| E | HRE | Golyó, F 3,175 mm | 98,07 | 882,6 | 980,7 | 70 HRE - 100 HRE |
| F | HRF | Golyó, F 1,5875 mm | 98,07 | 490,3 | 588,4 | 60 HRF - 100 HRF |
| G | HRG | Golyó, F 1,5875 mm | 98,07 | 1373 | 1471 | 30 HRG - 94 HRG |
| H | HRH | Golyó, F 3,175 mm | 98,07 | 490,3 | 588,4 | 80 HRH - 100 HRH |
| K | HRK | Golyó, F 3,175 mm | 98,07 | 1373 | 1471 | 40 HRK - 100 HRK |
| 15N | HR15N | Gyémántkúp | 29,42 | 117,7 | 147,1 | 70 HR15N - 94 HR15N |
| 30N | HR30N | Gyémántkúp | 29,42 | 264,8 | 294,2 | 42 HR30N - 86 HR30N |
| 45N | HR45N | Gyémántkúp | 29,42 | 411,9 | 441,3 | 20 HR45N - 77 HR45N |
| 15T | HR15T | Gyémántkúp | 29,42 | 117,7 | 147,1 | 67 HR15T - 93 HR15T |
| 30T | HR30T | Golyó, F 1,5875 mm | 29,42 | 264,8 | 294,2 | 29 HR30T - 82 HR30T |
| 45T | HR45T | Golyó, F 1,5875 mm | 29,42 | 411,9 | 441,3 | 10 HR45T - 72 HR45T |
| * A golyót használó skálák keménységi jelét acélgolyó behatolótest használata esetén S, míg keményfém golyó esetén W betűvel kell kiegészíteni. | | | | | | |

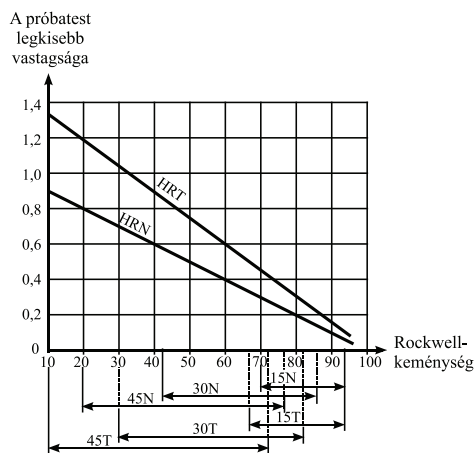
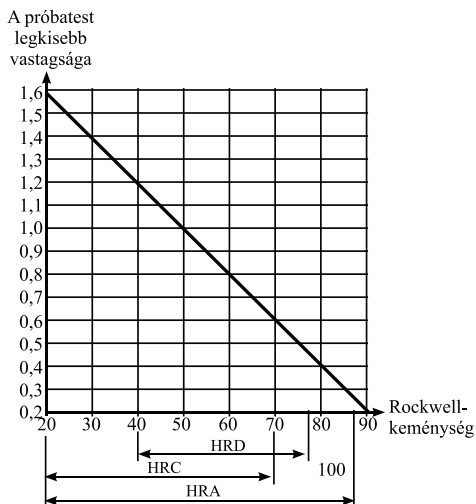
Fogalmak és jelölések

| Jelölés | Meghatározás | Mértékegység |
|--|---|--------------|
| F_0 | Előterhelés | N |
| F_1 | Főterhelés | N |
| F | Teljes terhelés | N |
| S | A skála jellemző egysége | mm |
| N | A skálára jellemző szám | |
| h | A lenyomat maradó mélysége előterhelés alatt, a főterhelés levétele után (maradó lenyomatmélység) | mm |
| HRA HRC HRD | Rockwell-keménység = $100 - \frac{h}{0,002}$ | |
| HRB HRE HRF HRG HRH KHK | Rockwell-keménység = $130 - \frac{h}{0,002}$ | |
| HRN HRT | Rockwell-keménység = $100 - \frac{h}{0,001}$ | |

Melléklet



Vizsgálat golyó alakú behatolótestekkel (B, G, F, K,E és H skála)



Vizsgálat gyémántkúp behatolótestekkel (A, C és D skála)

Felületi Rockwell-keménységmérés (N és T skála)

SZÓTÁR

| Magyar | Román | Angol | Német |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| A | | | |
| acél | oțel | steel | Stahl |
| „acélanatómus” | anatomist al oțelului | steel anatomist | Stahlanatom |
| acélgolyó | bilă de oțel | steel ball | Stahlball |
| acélöntvény | oțel turnat | cast steel | Stahlguss |
| acéltermelés | producția de oțel | steel production | Stahlproduktion |
| aktivitás | activitate | activity | Aktivität |
| alakváltozás | deformare | deformation | Verformung |
| alakváltozási sebesség | viteza de deformare | deformation speed | Dehngeschwindigkeit |
| állandó feszültség | tensiune constantă | constant voltage | konstante Spannung |
| állandósult, avagy szekunder kúszás | fluaj constant sau secundar | steady or secondary creep | stetiges oder sekundäres Kriechen |
| alternatíva | alternativă | alternative | Alternative |
| alumínium | aluminiu | aluminum | Aluminium, Aluminiummetall |
| anyagazonosítás | identificarea substanțelor/materialelor | substance/material identification | Stoffidentifikation |
| anyagazonosító próbák | teste de identificare a substanțelor | substance identification tests | Stoffidentifikationstests |
| anyaghibák | defecte de material | material defects | Materialfehler |
| anyagjellemző | caracteristica materialului | material characteristic | Materialeigenschaft |
| anyagminőség | calitatea materialului | material quality | Materialqualität |
| anyagtechnológia | tehnologia materialelor | materials technology | Werkstofftechnik |
| anyagtudomány | știința materialelor | materials science | Materialwissenschaften |
| anyagvizsgálat | testarea materialelor | material testing | Materialprüfung |
| átmeneti hőmérséklet | temperatura de tranziție | transition temperature | Übergangstemperatur |
| átmeneti tartomány | interval de tranziție | transitional range | Übergangsbereich |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| autogénhegesztés (lánghegesztés) | sudare autogenă (sudare cu flacăra) | autogenous welding (flame welding) | autogenes Schweißen (Flammenschweißen) |
| autogénvágás (lángvágás) | tăiere autogenă (tăiere cu flacăra) | autogenous cutting (flame cutting) | autogenes Schneiden (Flammenschneiden) |
| B | | | |
| bázissík | planul de bază | base plane | Basisebene |
| bélyeg | timbru | stamp | Stempel |
| borítólemez | capac | cover plate | Deckplatte |
| C | | | |
| cementált kéreg | coaja cimentată | cemented bark | zementierte Rinde |
| ciklikus | ciclic | cyclic | zyklisch |
| ciklikus igénybevétel | solicitare ciclică | cyclic load | zyklische Belastung |
| ciklusszám | număr de cicluri | number of cycles | Zykluszahl |
| CS | | | |
| csapágy | rulment | bearing | Lager |
| csapágyfémek | materiale antifricțiune | bearing metals, anti-friction metals | Lagermetalle, Weibmetalle, Gleitlagermetalle |
| csavarás | răsucire, torsiune | twisting, torsion | Drehung |
| csavarópróba = csavaró-fárasztópróba | test de răsucire | torsional fatigue test | Dauerverdrehprobe |
| csillapítóképesség | capacitatea de amortizare | damping ability | Dämpfungsfähigkeit |
| csiszolás | șlefuire | grinding | polieren, schleifen |
| csiszolókorong | piatră de șlefuit/rectificat | grinding wheel | Schleifrad |
| csővezeték | conductă | pipeline | Rohrleitung |
| csúcsszög | unghiul la vâr | peak angle | Spitzenwinkel |
| csúszás | alunecare | slip | Gleitung, |
| csúsztatófeszültség | tensiunea de alunecare | shear stress | Scherspannung |
| D | | | |
| deformáció | deformație | deformation | Verformung |
| deformálódás | deformare | deformation | Verformung |
| diagram | diagramă | diagram, graph | Diagramm |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| diffúzió | difuziune | diffusion | Diffusion |
| dinamikus | dinamic | dynamic | dynamisch |
| díszlokáció | dislocație | dislocation | Verschiebung |
| díszlokációmozgást gátló | inhibitor al mișcării dislocative | dislocative movement inhibitor | dislokativer Bewegungsinhibitor |
| diszperz | dispersat | disperse | dispergierte |
| diszperzen eloszló kiválás | segregație dispersată | dispersed segregation | dispergiertes Segregation |
| duktilitás | ductilitate | ductility | Duktilität |
| E, É | | | |
| edzés | călire | hardening, quenching | Härten, Abschreckhärten |
| égetés | ardere | burning | Brennen |
| egyenletes terhelés | încărcare uniformă | uniform/ constant load | gleichmäßige Belastung |
| egyenletesen növelt terhelés | încărcare uniform crescătoare | linear increasing load | linearsteigende Belastung |
| ejtő keménységmérés | măsurarea durității elastice | elastic hardness measurement | Fallhärteprüfung |
| ejtő (visszapattanó) kalapács | ciocănel de recul | drop hammer | Fallhammer |
| elemzés | analiză | analysis | Analyse |
| élettartam | durata de viață | lifetime | Leben |
| ellenőrzés, vizsgálat | verificare, încercare | inspection, testing, control, check | Kontrolle, Prüfung |
| ellentmondás | contradicție | contradiction | Widerspruch |
| előmelegítés | preîncălzire | pre-heating | Vorheizen |
| előterhelés | preîncărcare | preload | Vorspannung |
| elridegedés | fragilizare | embrittlement | Versprödung |
| etalon | etalon, standard | Standard | Standard |
| expanzió | expansiune | expansion | Erweiterung |
| extrapolálás | extrapolare | extrapolation | Extrapolation |
| F | | | |
| fajlagos | specifică | specific | spezifischer |
| fajlagos energiavesztesség | pierdere specifică de energie | specific energy loss | spezifischer Energieverlust |
| fajlagos keresztmetszet-csökkenés | gâtuire specifică | specific cross-sectional reduction | spezifische Querschnittverminderung |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|---|-------------------------------------|---|--|
| fajlagos nyúlás | alungirea specifică | strain | spezifische Dehnung |
| fajlagos ütőmunka | reziliență | notch toughness | Kerbschlagzähigkeit |
| fáradásállóság | rezistență la oboseală | fatigue resistance | Ermüdungsbeständigkeit |
| fáradási repedés | fisura de oboseală | fatigue crack | Ermüdungsriß |
| fáradást kiváltó feszültség | tensiunea limită de oboseală | fatigue stress | Ermüdungsspannung |
| fáradt törés | rupere de oboseală | fatigue fracture | Ermüdungsbruch |
| fárasztóvizsgálat | încercare la oboseală | fatigue test | Ermüdungstest |
| fázis | fază | phase | Phase |
| feltaláló | inventator | inventor | Erfinder |
| felület | suprafață | surface | Oberfläche |
| felületi energia | energia superficială | surface energy | Oberflächenenergie |
| felületi hiba | defect de suprafață | surface defect | Oberflächendefekt |
| felületminőség | calitatea suprafeței | surface quality | Oberflächenqualität |
| fém | metal | metal | Metall |
| fémpor | pulbere metalică | metal powder | Metallpulver |
| fényerősség | strălucire | brightness | Helligkeit |
| fényforrás | sursă de lumină | light source | Lichtquelle |
| fényjelenség | fenomen (efect) luminos | light phenomenon | Lichtphänomen |
| fénynyaláb | rază de lumină | light beam | Lichtstrahl |
| fényvisszaverő-képesség | reflexie | reflectivity | Reflexionsvermögen |
| feszültség | tensiune | stress | Spannung |
| feszültségállapot | stare de tensiune | stress state | Spannungszustand |
| feszültséggyűjtő hely (keresztmetszet-változások, hegesztési csomópontok) | concentrator de tensiune | local stresspoint | Spannungssammelpunkt (Querschnittsänderungen, Schweißknoten) |
| feszültségintenzitás tényező | factorul de intensitate a tensiunii | stress intensity factor | Spannungsstärkefaktor |
| folyáshatár | limita de curgere | yield point, yield stress, proof stress | Fließgrenze, Streckgrenze |
| folytonossági hiány | lipsa de continuitate | lack of continuity | Mangel an Kontinuität |
| forgácsolás | așchiere | cutting | Schneiden, Zerspanung |
| forgó gépalkatrész | piesă rotativă | rotating machine parts | drehende Maschinenteile |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|
| főterhelés | solicitare principală | main load | Hauptbelastung |
| fraktográfia | fractografie | fractography | Fraktographie |
| G, GY | | | |
| geometriai tényező | factorul geometric | geometric factor | geometrischer Faktor |
| gödrös felület | suprafață cu gropi | pit surface | Grubenoberfläche |
| golyó | bilă | ball | Kugel |
| görbe | curbă | curve | Kurve |
| gyártástechnológia | tehnologie de fabricație | manufacturing technology | Fertigungstechnologie |
| gyémánt | diamant | diamant | Diamant |
| gyémántgúla | vârf de diamant piramidal | pyramid tip diamond | Pyramidaler Diamantgipfel |
| gyorsacél | oțel rapid | high-speed steel | Schnelldrehstahl, Schnellstahl |
| gyorsuló, avagy tercier kúszás | fluaj accelerat sau terțiar | accelerating or tertiary creep | Beschleunigungs- oder Tertiärkriechen |
| H | | | |
| hajlítás | îndoire | bending | Biegung |
| (ütve) hajlítóvizsgálat | încercare la încovoiere (prin lovire) | bending test (by impact) | Bigsamkeitstest, Biegeprobe (durch Schlag) |
| hajóépítés | construcții navale | shipbuilding | Schiffbau |
| hegeszthetőség | sudabilitate | weldability | Schweißbarkeit |
| hevítés | încălzire | heating | Heizung, Warmung |
| hibaelhárítás | depanare | troubleshooting | Fehlerbehebung |
| hitelesítés | etalonare | calibration | Eichen, Kalibrierung |
| hőkezelés | tratament termic | heat treatment | Wärmebehandlung |
| hőkezelőkemence | cuptor pentru tratament termic | heat treatment furnace | Wärmebehandlungsofen |
| homogén | omogen | homogeneous | homogen, gelichartig |
| hosszirány | direcție longitudinală | longitudinal direction | Längsrichtung |
| hűtés | răcire | cooling, refrigeration | Kühlung, Abkühlung |
| huzal | sârmă | wire | Draht |
| húzás | întindere | pull | ziehen |
| húzófeszültség | tensiunea la întindere | tensile stress | Zugspannung |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|--------------------------------------|--|---------------------------|---|
| I, J | | | |
| igénybevétel | solicitare | load | Beanspruchung |
| igénybevétel jellege | tipul solicitării | load type | Beanspruchungsart |
| inga | pendul | pendulum | Pendel |
| ingakalapács | ciocan pendul | pendulum hammer | Pendelhammer |
| irányítottság | orientare | orientation | Orientierung |
| izzó (szemcse) | incandescent | incandescent | glühend |
| jegyzőkönyv | proces verbal | protocol / report | Protokoll |
| jelenség, hatás | fenomen, efect | Phenomenon, effect | Phänomen, Effekt |
| jelentéktelen | nesemnificativ | insignificant | unbedeutend |
| K | | | |
| kalapács | ciocan | hammer | Hammer |
| karbon, szén | carbon | carbon | Kohlenstoff |
| karcolás | zgârietură | scratch | Kratzer, Ritze |
| károsodás | deteriorare | damage | Beschädigung |
| katasztrófa | catastrofă | disaster | Katastrophe |
| kemence | furnal, cuptor | furnace, oven | Ofen |
| keményfém | carburi dure | metal carbide | Hartmetall |
| keményység | duritate | hardness | Härte |
| keményiségi skála | scală de duritate | hardness scale | Härteskala |
| keménységmérés | măsurarea durității | hardness measurement | Härtemessung |
| keménységmérő | aparatură pentru măsurarea durității | hardness tester | Härtemessgerät |
| keménységvizsgálat | test de duritate | hardness test | Härteprüfung |
| képlékeny | plastic | plastic | plastisch |
| képlékeny alakváltozás/deformáció | deformație plastică | plastic deformation | plastische Verformung |
| képlékeny törés | fractură plastică | plastic fracture | plastischer Bruch |
| képlékenység | plasticitate | plasticity | Plastizität |
| kerámia | ceramică | ceramic, cermet | Metallkeramik |
| kerék | roată | wheel | Rad |
| keresztirány | direcție transversală | transversal direction | Querrichtung |
| keresztmetszet | secțiune transversală | cross section | Querschnitt |
| keresztmetszet-csökkenés, kontrakció | reducerea secțiunii transversale, contracție | cross-sectional reduction | Querschnittsverringung, Bruch einschnürung, Kontraktion |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|---|---|----------------------------------|---|
| kesztyű | mănușă | glove | Handschuh |
| kiértékelés | evaluare | evaluation | Auswertung |
| kifáradás | oboseală | fatigue | Ermüdung |
| kifáradási határ | limita de oboseală | fatigue strength | Dauerfestigkeit |
| kobalt | cobalt | cobalt | Kobalt |
| kockázatmentes | fără riscuri | risk free | risikolos |
| kokilla | cochilă | ingot mould | Kokille, Dauergießform |
| kompozit | compozit | composite | Komposite |
| könnyűfém | aliaj ușor | light metal | Leichtmetall |
| kontrakció | contractie | contraction | Kontraktion |
| konverzió | conversie | conversion | Umwandlung, Konversion |
| kopásállóság | rezistența la uzură | wear-resistance | Verschleißfestigkeit |
| korrekció | corecție | correction | Korrektur |
| korrigálás | corectare | correction | Korrektur, Verbesserung |
| korrózió | coroziune | corrosion | Korrosion |
| korrózióálló acél | oțel inoxidabil | stainless steel | korrosionsbeständiger Stahl, rostfreier Stahl |
| köszörűgép | mașină de rectificat | grinding machine, grinder | Schleifmaschine |
| köszörülés | rectificare | grinding | schleifen |
| kötélpálya sodrony-kötél huzal | fir de cablu de teleferic | cable wire | Seilbahnkabel |
| kötés | legătură | binding | Bindung |
| kovácshegesztés | sudare prin forjare | forge welding | Schmiedeschweißen |
| kovácsolhatóság | forjabilitate | forgeability | Schmiedearbeit |
| kristály | cristal | crystal | Kristall |
| kristályhatár menti | pe limita cristalinității | crystal border | Kristallrand |
| kristályrács | rețea cristalină | crystal lattice | Kristallgitter |
| kritikus feszültség-intenzitási tényező | factorul de intensitate a tensiunii critice | critical stress intensity factor | kritischer Spannungsintensitätsfaktor |
| kritikus repedés | fisură critică | critical split | kritischer Riss |
| króm | crom | chromium, chorine | Chrom |
| kúszás (tartós folyás) | fluaj (flux continuu) | creep (continuous flow) | Kriechen (kontinuierlicher Fluss) |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|-------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| kúszásállóság | rezistență la fluaj | creep resistance | Kriechfestigkeit |
| kúszáshatár | limită de fluaj | creep limit | Zeitkriechgrenze, Kriechgrenze |
| kúszásvizsgálat | analiză fluaj | creep test | Kriechversuch, Dauerstandversuch |
| kutatás | cercetare | research | Forschung |
| L | | | |
| laborrend | regulament de laborator | laboratory policy | Laboratoriumvorschrift, Laborstatut |
| lágycél | oțel moale („ductil”), oțel normal de construcții | mild steel | Baustahl |
| láng | flacăra | flame | Flamme |
| lassuló, avagy primer kúszás | fluaj decelerator sau primar | decelerating or primary creep | Verzögerer oder primäres Kriechen |
| lekerekítés | rotunjire | fillet | Abrundung |
| lemez | tablă | sheet | Platte, Blatt |
| lenyomat | amprentă | imprint | Aufdruck |
| lenyomat mélysége | adâncimea amprentei | the depth of the imprint | die Tiefe des Abdrucks |
| lineáris interpoláció | interpolare liniară | linear interpolation | lineare Interpolation |
| M | | | |
| mágnesezhető | magnetizabil | magnetisable | magnetisierbar |
| makrorepedés | macrofisură | macrofissure | Makrorissen |
| makroszerkezet | macrostructură | macrostructure | Makrostruktur |
| makroszerkezeti inhomogenitás | neomogenitate macrostructurală | macrostructural inhomogeneity | makrostrukturelle Inhomogenität |
| mangán | mangan | manganese | Mangan |
| maradó benyomódás | urme remanentă | steady penetration | verbleibende Einkerbung |
| maradó nyúlás | alungire remanentă (reziduală) | residual elongation | Restdehnung |
| matt | mată | matt | matte |
| mechanikai igénybevétel | solicitare mecanică | mechanical load | mechanische Beanspruchung |
| megeersztés | recoacere | tempering | Anlassen |
| meghibásodás | defectare | failuring | Defektwerdung/ Schadhafwerdung |
| megmunkálhatóság | prelucrabilitate | machinability | Bearbeitbarkeit |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|-----------------------------|---|---------------------------|---|
| melegalakítás | formare la cald | hot working | Warmverformung, Warmformgebung |
| mélységkülönbség (mérő) | diferența de adâncime (contorul diferenței de adâncime) | depth difference (meter) | Tiefenunterschied (Tiefendifferenzmesser) |
| mérés | măsurare | measurement | Messung |
| mérőél | muchia de măsurare | measuring edge | Messkante |
| mérőeszköz | aparat de măsură | measuring device | Messgerät |
| mérőfej | palpator | measuring head | Messkopf |
| mérőperem | flanșă de măsurare | measuring flange | Messflansch |
| mértékegység | unitate de măsură | unit of measure | Messeinheit |
| metallográfia | metalografie | metallography | Metallographie |
| metallográfiai mikroszkóp | microscop metalografic | metallographic microscope | metallographisches Mikroskop |
| mikrokeménység | microduritate | microhardness | Mikrohärte |
| mikrorepedés | microfisură | microcracking | Mikrorisse |
| mikroszkóp | microscop | microscope | Mikroskop |
| minőségi ellenőrzés | controlul calității | quality control | Qualitätskontrolle |
| módszer | metodă | method | Methode |
| morfológiai elemzés | analiză morfologică | morphological analysis | morphologische Analyse |
| munkaruha | echipament de lucru | working clothing, smock | Arbeitskleidung |
| munkavédelem | protecția muncii | occupational safety | Arbeitsschutz, Arbeitssicherheit |
| N, NY | | | |
| négyzet alakú | pătratic | square shaped | quadratisch |
| nemesített acél | oțel îmbunătățit | quenched, tempered steel | Edelstahl |
| nyírás | forfecare | shearing | scheren |
| nyomás | presiune | pressure | Druck |
| nyomástartó edény (tartály) | vas de presiune (rezervor) | pressure vessel (tank) | Druckbehälter (Tank) |
| nyomófeszültség | tensiune de compresiune | compressive stress | Druckspannung |
| nyomószilárdság | rezistență la compresiune | compressive strength | Druckfestigkeit |
| nyomóvizsgálat | încercare la compresiune | compression test | Druckversuch, Drucktest |
| nyúlás | elongație | elongation | Dehnung |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|
| O, Ó | | | |
| objektív | obiectiv | objective | objektiv |
| okulár | ocular | ocular | Okular |
| oldallemez | placă laterală | side plate | Seitenplatte |
| oldat | soluție | solution | Lösung |
| oldhatóság | solubilitate | solubility | Lösbarkeit |
| ólom | plumb | lead | Blei |
| oladási hőmérséklet | temperatura de topire | melting temperature | Schmelztemperatur |
| olvaspont | punct de topire | melting point, thaw point | Schmelzpunkt |
| ón | staniu | tin | Zinn |
| oxidréteg | strat de oxizi | oxide layer | Oxidschicht |
| Ö, Ő | | | |
| öntöde | turnătorie | foundry | Gießerei |
| öntöttvas | fontă | cast iron | Gußeisen |
| összetétel | compoziție | composition | Komposition |
| ötvözet | aliaj | alloy | Legierung, Metalllegierung |
| P | | | |
| perlit | perlită | pearlite | Perlit |
| polihisztor | erudit | polymath | Polymath |
| polimer | polimer | polymer | Polymer |
| polírozott | lustruit | polished | poliert |
| próbabálca | tijă de probă | test rod | Prüfstab |
| próbatest, mintadarab | epruvetă | specimen | Probe / Prüfkörper |
| próbatestbemetszés | crestătura epruvetei | specimen slot | Probeneinschnitt |
| R | | | |
| referenciasík | planul de referință | reference plane | Referenzebene |
| rekesz | compartiment | compartment | Abteil |
| rendszer | sistem | system | System |
| reológiai vizsgálat | examen reologic | rheological examination | rheologische Untersuchung |
| repedés | fisură, crăpătură | crack, fissure | Riss |
| repedés alakja | forma fisurii | the shape of the crack | die Form des Risses |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|
| repedési formaté- nyező | factorul de formă a fisurii | crack form factor | Rissformfaktor |
| repedéskeletkezés | formarea fisurilor | crack formation | Rissbildung |
| repedésszerű hiba | defecte de fisură | crack-like defect | rissartiger Defekt |
| repedésterjedés | propagarea fisurilor | crack propagation | Rissausbreitung |
| repülőgéphajtás | propulsia aerona- velor | aircraft propulsion | Flugzeugsantrieb |
| repülőgyártás | fabricarea aerona- velor | aircraft manufac- turing | Flugzeugbau |
| revesedés | formare de Țunder | Dross forming | Zinderaufbildung |
| réz (vörösréz) | cupru | copper | Kupfer |
| rezgés vagy lengés | vibrație, oscilație | vibration, oscillation | Oszcillation, Schwin- gung |
| rezgő keménység- mérés | vibro-măsurarea durității | hardness vi- bro-measurement | Schwinghartmessen |
| rideg-képlékeny átmenet | tranziție fragil- plas- tic | brittle-plastic tran- sition | spröde-plastischer Übergang |
| ridegtörés | fractură fragilă | brittle fracture | Spröddbruch |
| rombusz alakú | rombic | rhombus shape | Rautenform |
| roncsolás | distrugere | destruction | Zerstörung |
| roncsolásmentes | nedestructiv | nondestructive | zerstörungsfreie |
| roncsolásmentes vizsgálat | încercare nedestruc- tivă | nondestructive testing | zerstörungsfreie Prüfung |
| rugalmasság | elasticitate | elasticity | Elastizität, Flexibi- lität |
| S | | | |
| sík felület | suprafață plană | flat surface | ebene Fläche |
| statikus | static | static | statisch |
| súrlódás | frecare | friction | Reibung |
| sűrűség | densitate | density | Dichte |
| SZ | | | |
| szabály | regulă | rule | Regel |
| szakítódiaqram | diagrama de rupere la tracțiune | tensile diagram | Zerreißdiagramm |
| szakítógép | aparaturul de încerca- re la tracțiune | tensile testing ma- chine | Zerreißmaschine |
| szakítószilárdság | rezistență la tracțiune | tensile strength | Zugfestigkeit |
| szakítóvizsgálat | test de tracțiune | tensile test | Zugversuch |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|----------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| szemcse | grăunte | grain | Korn |
| szemcsedurvulás | creșterea grăuntelui | grain roughening | Vergröberung |
| szemcsehatár | limita grăuntelui | grain boundary | Korngrenze |
| szemcseméret | dimensiunea particulelor | particle size, grain size | Partikelgröße, Korngröße |
| szemcseszerkezet | structura particulei | particle structure | Partikelstruktur |
| szennyezők | impurități | impurities | Verunreinigungen |
| széntartalom | conținut de carbon | carbon content | Kohlenstoffgehalt |
| szerkezeti anyagok | materiale de structură | structural materials | Konstruktionwerkstoffe, Bauwerkstoffe |
| szerszámacél | oțel de scule | tool steel | Werkzeugstahl |
| szétnyílás | deschidere | opening | Öffnung |
| szikrakép | forma scânteii | shape of the spark | Funkenbild |
| szikranyaláb | fascicul de scânteii | spark beam | Funkenstrahl |
| szikrapróba | încercarea prin scânteiere | spark test | Funkenprüfung |
| szilárd | solid | solid | fest |
| szilárd anyag | material solid | solid material | Feststoff |
| szilárdság | rezistență | strength | Festigkeit |
| szilícium | siliciu | silicon | Silizium |
| színesfém | metal neferos | non-ferrous metal | Nichteisenmetalle |
| szívós repedésterjedés | propagarea tenace a fisurii | tough crack propagation | zähe Rissausbreitung |
| szívósság | tenacitate | toughness | Zähigkeit |
| szűrő keménységmérés | măsurarea durității prin penetrație | penetration hardness test | Eindringhärtemessen |
| szűrőszerszám | penetrator | head | Eindringkörper |
| T | | | |
| találmány | invenție | invention | Erfindung |
| tapasztalat | experiență | experience | Erfahrung |
| tárgytartó asztal | masă (suport piesă) | work table | Arbeitstisch |
| teherbírás | portanță | load capacity | Tragfähigkeit |
| tengely | axă | axis | Achse |
| terhelés | sarcină | load | Belastung |
| terhelésfeltűtás sebessége | viteza de încărcare | load speed | Ladegeschwindigkeit |
| terhelőerő | forța de încărcare | load force | Belastungskraft |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|---------------------------------------|--|---|--|
| terhelő húzófeszültség | tensiunea la încercare | the load tensile stress | die Lastzugspannung |
| teszt | test | test | Prüfung |
| többtengelyű nyomófeszültség | stare de compresiune spațială | multiaxial compressive stress | Räumliche kompressionsspannung |
| tömör üveg | sticlă solidă | solid glass | festes Glas |
| törés | casare, fractură, ruptură | fracture | Fraktur, Bruch |
| törésállóság | rezistență la casare | fracture resistance | Bruchfestigkeit |
| törési feszültség | tensiune de rupere | breaking stress | Brechfestigkeit |
| törési szívósság | reziliență | fracture toughness | Bruchzähigkeit |
| törésmechanika | mecanica fracturilor | fracture mechanics | Bruchmechanik |
| törésmechanikai vizsgálat | încercare la rupere | fracture mechanics test | Bruchmechanik-Test |
| töret | suprafața de rupere | fracture surface | Bruchquerschnitt |
| továbbblendülés | depășire | overstep | Überschwingung |
| transzkrisztallin (szemcsén áthaladó) | transcristalin (care trece prin granule) | transcrystalline (crossing the granule) | transkristallin (durch den Kristallkorn) |
| (anyag) tulajdonság | proprietate/caracteristică material | material property | Materialeigenschaft |
| tűzjelzés | alarmă de incendiu | fire alarm | Feueralarm |
| tűzoltás | stingerea incendiilor | fire-fighting | Brandbekämpfung |
| tűzvédelem | protecție împotriva incendiilor | fire protection | Feuerschutz |
| U, Ú, Ü | | | |
| újrakristályosodás | recristalizare | recrystallization | Rekristallisation |
| újrakristályosodási hőmérséklet | temperatura de recristalizare | recrystallization temperature | Rekristallisations-temperatur |
| üregképződés | cavitație | cavitation | Kavitation |
| üregláncolat | lanțul cavitațiilor | cavity chain | Hohlraumkette |
| ütőmunka | reziliență | notch impact energy | Schlagenergie |
| ütővizsgálat | încercarea de reziliență | notch impact test | Schlagprüfung |
| üveg | sticlă | glass | Glas |
| üvegesedési hőmérséklet | temperatura de vitrifiere | vitrification temperature | Glasübergangstemperatur |
| üzemeltetés | exploatare | operation | Betrieb |

| Magyar | Román | Angol | Német |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| V, ZS | | | |
| valós terhelést szimuláló | simulator de sarcină reală | simulating a real load | Simulation einer realen Beanspruchung |
| védőfelszerelés | echipament de protecție | protective equipment | Schutzausrüstung |
| védőszemüveg | ochelari de protecție | safety glasses, goggles | Schutzbrille |
| visszapattanás | reflexie | rebound | Rückprall |
| vizsgálat vagy próba | încercare sau probă | test | Versuch, Prüfung |
| vizsgálati eredmény | rezultat experimental | test result | Testergebnis |
| vizsgálati tapasztalat | cunoștințe empirice | empiric knowledge | empirische Erfahrung |
| zsírkő | talc | talc | Talk |

TÁRGYMUTATÓ

A, Á

acél 39, 63–65, 85, 86, 88, 90, 91, 93, 94,
96, 100, 109–111, 115, 121, 123
„acélanatómus” 94, 115
acélgolyó 44, 46, 47, 52, 115
acélöntvény 103, 115
acéltermelés 103, 115
aktivitás 14, 17, 115
alakváltozás 32, 34, 37, 38, 41, 50, 51, 57,
61, 63, 66–70, 75, 77, 115, 120
alakváltozási sebesség 66, 115
állandó feszültség 66, 67, 115
állandósult, avagy szekunder kúszás 67,
115
alternatíva 103, 115
alumínium 66, 115
anyagazonosítás 9, 10, 83, 84, 115
anyagazonosító próbák 83, 115
anyaghibák 22, 115
anyagjellemző 10, 22, 34, 43, 61, 76, 115
anyagminőség 108, 111, 115
anyagtechnológia 18, 111, 115
anyagtudomány 9–11, 15, 18, 22, 107, 115
anyagvizsgálat 21, 22, 34, 39, 43, 85, 94,
104, 115
átmeneti hőmérséklet 58, 60, 115
átmeneti tartomány 115
autogénhegesztés (lánghegesztés) 95, 116
autogénvágás (lángvágás) 95, 116

B

bázissík 51, 116
bélyeg 62, 116
borítólemez 109, 112, 116

C, CS

cementált kéreg 53, 116
ciklikus 73, 76, 116
ciklikus igénybevétel 76, 116
ciklusszám 75, 77, 116
csapággy 75, 76, 97, 101, 116

csapággyfémek 41, 45, 116
csavarás 34, 116
csavarópróba = csavaró-fárasztópróba 95,
116
csillapítóképesség 43, 44, 116
csiszolás 53, 116
csiszolókorong 86, 87, 95, 116
csővezeték 67, 75, 116
csúcshő 48, 52, 116
csúszás 32, 67, 116
csúsztatófeszültség 57, 116

D

deformáció 42, 69, 116
deformálódás 45, 108, 116
diagram 41, 42, 68, 78–82, 116
diffúzió 67, 68, 117
dinamikus 14, 43, 57, 67, 117
dízlokáció 67, 117
dízlokációmozgást gátló 67, 117
diszperz 67, 117
diszperzen eloszló kiválás 67, 117
duktilitás 34, 57, 117

E, É

edzés 94, 117
égetés 71, 85, 117
egyenletes terhelés 56, 117
egyenletesen növelt terhelés 56, 117
ejtő keménységmérés 43, 53, 117
ejtő (visszapattanó) kalapács 53, 117
elemzés 26, 29, 60, 66, 69, 78, 117
élettartam 75, 76, 78, 117
ellenőrzés 25, 32, 65, 85, 117
ellentmondás 105, 117
előmelegítés 56, 117
előterhelés 50, 51, 53, 117
elridegedés 58, 117
etalon 28, 29, 86, 117
expansió 57, 58, 60, 117
extrapolálás 68, 117

F

fajlagos 42, 60, 63, 64, 106, 109, 117
 fajlagos energiavesztés 106, 117
 fajlagos keresztmetszet-csökkenés 38, 117
 fajlagos nyúlás 38, 118
 fajlagos ütmunka 60, 109, 118
 fáradásállóság 75, 76, 118
 fáradási repedés 63, 118
 fáradást kiváltó feszültség 75, 118
 fáradt törés 73, 80, 118
 fárasztóvizsgálat 75–77, 118
 fázis 20, 48, 49, 118
 feltaláló 85, 94, 96, 98, 104, 118
 felület 34, 43–46, 48–51, 53, 57, 58, 60, 73, 92, 95, 97, 106, 118
 felületi energia 106, 118
 felületi hiba 51, 64, 118
 felületminőség 34, 57, 76, 118
 fém 32, 33, 37, 39, 40, 50, 58, 67, 83, 105, 106, 118
 fémpor 83, 118
 fényerősség 89, 118
 fényforrás 44, 118
 fényjelenség 86, 118
 fénynyaláb 86, 118
 fényvisszaverő-képesség 83, 118
 feszültség 23, 25, 32, 34, 37, 38, 61, 66, 67–73, 75, 79, 106, 118
 feszültségállapot 38, 57, 75, 118
 feszültséggyűjtő hely (keresztmetszet-változások, hegesztési csomópontok) 75, 118
 feszültségintenzitási tényező 61, 62, 64, 65, 118
 folyáshatár 37, 39, 62, 64, 75, 76, 79, 118
 folytonossági hiány 57, 61, 75, 106, 118
 forgácsolás 62, 118
 forgó gépalkatrész 75, 118
 főterhelés 51, 52, 119
 fraktográfia 60, 119

G, GY

geometriai tényező 62, 119
 gödrös felület 57, 119

golyó 45, 53, 56, 97, 114, 119
 görbe 32, 41, 60, 62, 69, 70, 71, 75, 76–82, 119
 gyártástechnológia 61, 119
 gyémánt 43, 48, 49, 50, 119
 gyémántgúla 49, 119
 gyorsacél 45, 91, 95, 119
 gyorsuló, avagy tercier kúszás 67, 119

H

hajlítás 34, 119
 hajlítóvizsgálat 34, 62, 119
 hajóépítés 103, 111, 119
 hegeszthetőség 94, 119
 hevítés 21, 85, 119
 hibaelhárítás 24, 119
 hitelesítés 29, 119
 hőkezelés 53, 93, 94, 101, 119
 hőkezelőkemence 94, 119
 homogén 105, 119
 hosszirány 109, 119
 hűtés 97, 119
 huzal 71, 72, 75, 105, 119
 húzás 32, 34, 35, 80, 106, 119
 húzófeszültség 57, 64, 71, 119

I, J

igénybevétel 32, 34, 39, 57, 67, 71, 73–82, 120
 igénybevétel jellege 76, 120
 inga 58, 59, 60, 109, 120
 ingakalapács 54, 120
 irányítottság 106, 120
 izzó (szemcse) 86, 120
 jegyzőkönyv 17, 21–23, 28–31, 120
 jelenség, hatás 14, 37, 57, 66, 73, 78, 97, 120
 jelentéktelen 106, 120

K

kalapács 46, 47, 53, 59, 100, 120
 karbon, szén 88, 95, 120
 karcolás 43, 86, 120
 károsodás 73, 77, 106, 120
 katasztrófa 111, 120

- kemence 20, 39, 71, 94, 120
 keményfém 45, 56, 120
 keménység 10, 43–56, 83–85, 120
 keménységi skála 43, 55, 84, 120
 keménységmérés 43–56, 91, 103, 114, 120
 keménységmérő 43–56, 100, 101, 103, 120
 keménységvizsgálat 43, 53, 55, 56, 120
 képlékeny 32, 37, 38, 41, 57, 75, 120
 képlékeny alakváltozás/deformáció 32, 37, 42, 51, 57, 66, 75, 120
 képlékeny törés 57, 120
 képlékenységi 34, 43, 60, 83, 120
 kerámia 33, 34, 50, 58, 67, 120
 kerék 75, 120
 keresztirány 60, 109, 120
 keresztmetszet 32, 34, 35, 38, 42, 60, 71, 74, 75, 120
 keresztmetszet-csökkenés, kontrakció 35, 38, 120
 kesztyű 23, 121
 kiértékelés 21, 22, 28, 29, 32, 37, 105, 121
 kifáradás 10, 66, 73, 78, 121
 kifáradási határ 75, 76, 78, 121
 kobalt 95, 121
 kockázatmentes 68, 121
 kokilla 56, 121
 kompozit 32, 121
 könnyűfém 53, 121
 kontrakció 35, 38, 39, 57, 58, 67, 121
 konverzió 55, 121
 kopásállóság 43, 121
 korrekció 29, 121
 korrigálás 16, 121
 korrózió 76, 109, 121
 korrózióálló acél 91, 121
 köszörűgép 86, 121
 köszörülés 86, 121
 kötélpálya sodronykötél huzal 75, 121
 kötés 83, 121
 kovácshegesztés 95, 121
 kovácsolhatóság 94, 121
 kristály 58, 67, 86, 121
 kristályhatár menti 67, 121
 kristályrács 58, 121
 kritikus feszültségintenzitási tényező 65, 121
 kritikus repedés 61, 121
 króm 95, 121
 kúszás (tartós folyás) 10, 66, 67, 68, 121
 kúszásállóság 67, 68, 122
 kúszáshatár 67, 122
 kúszásvizsgálat 67, 68, 122
 kutatás 17, 94, 95, 97, 98, 106, 122
- L**
- laborrend 22, 122
 lágyacél 40–42, 122
 láng 85, 122
 lassuló, avagy primer kúszás 66, 122
 lekerekítés 62, 75, 122
 lemez 35, 49, 108, 109, 111, 122
 lenyomat 43–45, 47–51, 53, 56, 97, 122
 lenyomat mélysége 50, 51, 122
 lineáris interpoláció 70, 122
- M**
- mágnesezhető 83, 122
 makrorepedés 66, 122
 makroszerkezet 57, 122
 makroszerkezeti inhomogenitás 75, 122
 mangán 95, 122
 maradó benyomódás 51, 52, 122
 maradó nyúlás 37, 122
 matt 57, 122
 mechanikai igénybevétel 32, 34, 122
 megeresztés 94, 122
 meghibásodás 38, 39, 122
 megmunkálhatóság 9, 122
 melegalakítás 106, 123
 mélységkülönbség (mérő) 50, 123
 mérés 15, 22, 23, 24, 26, 28–30, 34, 38, 41, 43, 44–51, 53, 56, 104–106, 123
 mérőél 63, 123
 mérőeszköz 29, 38, 123
 mérőfej 52, 123
 mérőperem 63, 123
 mértékegység 29, 45, 61, 123
 metallográfia 49, 95, 109, 112, 123
 metallográfiai mikroszkóp 49, 123
 mikrokeménység 49, 50, 123
 mikrorepedés 73, 75, 123

mikroszkóp 49, 97, 123
 minőségi ellenőrzés 85, 123
 módszer 16, 20, 43–45, 48, 53, 85, 123
 morfológiai elemzés 60, 123
 munkaruha 23, 123
 munkavédelem 22, 23, 26, 123

N, NY

négyzet alakú 48, 49, 123
 nemesített acél 53, 123
 nyírás 34, 123
 nyomás 34, 87, 95, 123
 nyomástartó edény (tartály) 75, 123
 nyomófeszültség 76, 123
 nyomószilárdság 41, 123
 nyomóvizsgálat 41, 123
 nyúlás 37–39, 62, 67, 70, 123

O, Ó

objektív 11, 12, 124
 okulár 44, 124
 oldalleméz 108, 111, 124
 oldat 98, 109, 124
 oldhatóság 84, 124
 ólom 39, 45, 124
 olvadási hőmérséklet 67, 124
 olvadáspont 88, 124
 ón 39, 45, 124
 oxidréteg 95, 124

Ö, Ő

öntöde 100, 103, 124
 öntöttvas 34, 41, 124
 összetétel 9, 86, 109, 124
 ötvözet 37, 45, 53, 63, 66, 69, 70, 71, 124

P

perlit 109, 124
 polihisztor 104, 124
 polimer 32, 33, 58, 66, 85, 124
 polírozott 44, 124
 pálca 47, 124
 próbatest, mintadarab 21, 34, 35, 37–39, 41, 53, 58, 60, 62, 68, 75, 76, 78, 98, 109, 124
 próbatestbemetszés 98, 124

R

referenciasík 51, 124
 rekesz 107, 111, 124
 rendszer 39, 124
 reológiai vizsgálat 67, 124
 repedés 57, 61–65, 75, 124
 repedés alakja 62, 124
 repedési formatényező 64, 65, 125
 repedéskeletkezés 57, 125
 repedésszerű hiba 106
 repedésterjedés 58, 61, 67, 73, 75, 106, 125
 repülőgéphajtás 106, 125
 repülőgyártás 103, 125
 revesedés 71, 125
 réz (vörösréz) 83, 125
 rezgés vagy lengés 43, 125
 rezgő keménységmérés 43, 125
 rideg-képlékeny átmenet 109, 125
 ridegtörés 57, 58, 60, 98, 125
 rombusz alakú 49, 125
 roncsolás 108, 125
 roncsolásmentes 53, 62
 roncsolásmentes vizsgálat 62, 125
 rugalmasság 43, 53, 94, 125

S

sík felület 46, 125
 statikus 34, 43, 64, 79, 81, 125
 súrlódás 34, 86, 125
 sűrűség 63, 89, 125

SZ

szabály 14, 22, 24, 25, 125
 szakítódiaگرام 36, 37, 40, 79, 125
 szakítógép 34, 35, 62, 104, 105, 125
 szakítószilárdság 38, 41, 42, 47, 76, 104, 125
 szakítóvizsgálat 32–42, 79, 126
 szemcse 57, 86, 88, 126
 szemcsedurvulás 58, 126
 szemcsehatár 67, 126
 szemcseméret 45, 58, 126
 szemcseszerkezet 109, 126
 szennyezők 57, 58, 126

széntartalom 86, 126
 szerkezeti anyagok 9, 10, 22, 126
 szerszámacél 91, 94, 95, 126
 szétnyílás 62, 126
 szikrakép 86, 88, 90, 91, 85, 126
 szikranyaláb 88, 126
 szikrapróba 85, 86, 89, 90, 92, 94, 95, 126
 szilárd 43, 126
 szilárd anyag 43, 126
 szilárdság 10, 32, 38, 39, 57, 63, 64, 67, 126
 szilícium 95, 126
 színesfém 53, 126
 szívós repedésterjedés 40, 43, 126
 szívósság 57, 58, 60, 73, 94, 98, 126
 szűrő keménységmérés 43, 126
 szűrőszerszám 43, 45, 47, 48, 49, 50, 51–53, 126

T

találmány 95, 101, 104, 126
 tapasztalat 68, 97, 106, 126
 tárgytartó asztal 44, 52, 126
 teherbírás 38, 127
 tengely 30, 32, 34, 57, 58, 64, 69, 70, 75, 79, 126
 terhelés 32, 34, 44, 45, 48, 50–52, 56, 61, 67, 72, 76–78, 97, 105, 107, 108, 126
 terhelésfelfutás sebessége 76, 126
 terhelőerő 42, 43, 44, 48, 50, 126
 terhelő húzófeszültség 64, 127
 teszt 109, 110, 127
 többtengelyű nyomófeszültség 57, 127
 tömör üveg 106, 127
 törés 41, 57, 58, 60, 61, 64, 69, 73–75, 82, 106–108, 127
 törésállóság 57, 127

törési feszültség 106, 127
 törési szívósság 61, 62, 127
 törésmechanika 10, 57, 63, 106, 127
 törésmechanikai vizsgálat 57, 64, 127
 töret 57, 58, 60, 127
 továbbblendülés 58, 127
 transzkrisztallin (szemcsén áthaladó) 57, 127
 (anyag) tulajdonság 9, 21, 22, 38, 39, 43, 83, 94, 108, 111, 127
 tűzjelzés 27, 28, 127
 tűzoltás 28, 127
 tűzvédelem 22, 127

U, Ú, Ü

újrakristályosodás 67, 127
 újrakristályosodási hőmérséklet 67, 127
 üregképződés 58, 127
 üregláncolat 66, 127
 ütőmunka 10, 58, 60, 109, 110, 127
 ütővizsgálat 98, 127
 ütve hajlító vizsgálat 58–60, 127
 üveg 32, 50, 85, 106, 127
 üvegesedési hőmérséklet 33, 127
 üzemeltetés 9, 10, 15, 61, 77, 127

V, ZS

valós terhelést szimuláló 77, 128
 védőfelszerelés 24, 128
 védőszemüveg 23
 visszapattanás 43, 53, 54, 128
 vizsgálat vagy próba 9, 21, 28, 34, 37, 40, 43, 50, 63, 68, 98, 109, 111, 128
 vizsgálati eredmény 22, 28, 60, 128
 vizsgálati tapasztalat 68, 128
 zsírkő 43, 128

IRODALOM

1. Agg Géza: *Műszaki alapismeretek*. LSI Oktatóközpont, Budapest, 1997.
2. Atanasiuc, C. – Cantac, A., – Crudu, I. – Drăgan, I. – Giriadă, C. – Horbaniuc, D. – Laşcu-Simon, N. – Leon, D. – Mocanu, D. R. – Pálfalvy A. – Palihovici, Val. – Prexl, R. – Rădăuceanu, D. – Deodorescu, M. Şt.: *Încercarea materialelor*. Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.
3. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Anyagtudományi gyakorlatmodulok a gépész- és mechatronikai mérnökképzésben*. In: *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVI., Kolozsvár/Cluj, Románia*. Műszaki Tudományos Füzetek, 2011. 5–16.
<https://doi.org/10.36243/fmtu-2011.04>
4. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába*. Műszaki Tudományos Füzetek, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007.
<https://doi.org/10.36242/mtf-03>
5. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés*. Műszaki Tudományos Füzetek, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-05>
6. Bagyinszki Gyula: *Anyagismeret és minősítés*. Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2004.
7. Bagyinszki Gyula: *Gyártásismeret és technológia*. Budapesti Műszaki Főiskola, Budapest, 2004.
8. Bagyinszki Gyula – Galla Jánosné – Harmath József – Jurcsó Péter – Kerekes Sándor – Tóth László: *Mérési gyakorlatok*. Képzőművészeti Kiadó, Budapest, 1999.
9. Bakonyi Gábor – Tasnádi Péterné: *Fizikai képletgyűjtemény*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
10. Bitay Enikő – Bagyinszki Gyula: *Duplex felületkezelés – plazmanitridálás és lézer- edzés kombinálása*. In: *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIV., Kolozsvár, Románia*. Műszaki Tudományos Füzetek, 2009. 45–52.
<https://doi.org/10.36243/fmtu-2009.16>
11. Bitay Enikő – Kovács Tünde: *The effect of the laser surface treatments on the wear resistance*. In: *Material Science Forum* 649. (2010) 107–112.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.649.107>
12. Bitay Enikő: – Roósz András: *Acélfelület keménységének növelése lézeres felületátolvasztással*. In: *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka III., Kolozsvár, Románia*. Műszaki Tudományos Füzetek, 1998. 253–256.
<https://doi.org/10.36243/fmtu-1998.64>

13. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. Műszaki Tudományos Füzetek, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007. <https://doi.org/10.36242/mtf-04>
14. Breuer, Hans: *Fizika*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest, 1993.
15. Breuer, Hans: *Informatika*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest, 1995.
16. Breuer, Hans: *Kémia*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest, 1995.
17. Bröcker, Bernhard: *Atomfizika*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest, 1995.
18. Brümmer, O. és társai (szerk.): *Szilárd testek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárzással*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
19. Budó Ágoston: *Kísérleti fizika I–III*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
20. Callister, Jr., William, D.: *Materials Science and Engineering. An Introduction*. 7. kiadás, John Wiley & Sons Inc., 2007.
21. Czichos, Horst és társai (szerk.): *Hütte: A mérnöki tudományok kézikönyve*. Springer Hungarica Kiadó Kft., Budapest, 1993.
22. Czinege Imre – Kisfaludy Antal – Kovács Ágoston – Vojnich Pál – Verő Balázs: *Anyagvizsgálat*. 7. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
23. Csengeri Pintér Péter: *Mennyiségek, mértékegységek, számok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
24. Dévényiné Verebély Judit – Vojnich Pál: *Anyagszerkezettan*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1991.
25. Domszky Mihály: *Elektrotechnika képletgyűjtemény*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1991.
26. Dormán Lajos: *Gépészeti anyagismeret I. Fémek és fémes anyagok*. Újvidék, 2001.
27. Dudás Zoltán: *Új diffúzióparaméterek alkalmazása*. In: 25. Jubileumi hegesztési konferencia. Konferenciakiadvány, Budapest, 2010. május 19–21. 327–366.
28. Frischherz, Adolf – Skop, Paul: *Fémtechnológia 1. Alapismeretek*. B + V Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1993.
29. Frischherz, Adolf – Piegler, Herbert: *Fémtechnológia 2. Szakismeretek*. B + V Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1994.
30. Gellert, Walter és társai (szerk.): *Természettudományi kisenciklopédia*. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1987.
31. Giber János és szerzőtársai: *Szilárd testek felületfizikája*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
32. Gillemot László: *Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
33. Ginsztler János – Hidasi Béla – Dévényi László: *Alkalmazott anyagtudomány*. 2. jav. kiad. Egyetemi tankönyv. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2005.
34. Guy, A. G.: *Fémfizika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
35. Hluchy, Miroslav és kollektívája: *Gyártástechnológia. Anyagismeret*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
36. Holics László (szerk.): *Fizika 1–2*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.

37. Hudson, Alvin – Nelson, Rex: *Útban a modern fizikához*. LSI Oktatóközpont, Budapest, 1994.
38. Karsai István (szerk.): *Anyagszerkezetten és fémek technológiája*. Gyakorlati jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
39. Kemény Sándor – Deák András: *Mérések tervezése és eredményeik kiértékelése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
40. Kicsi Sándor (főszerk.): *Természettudományi lexikon*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989.
41. Kittel, Charles: *Bevezetés a szilárdtestfizikába*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
42. Kovács László (szerk.): *Gépipari művezetők zsebkönyve*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
43. Kovács László: *Műszakiak zsebkönyve*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
44. Latka, František: *Matematikai képletgyűjtemény*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
45. Markó László (főszerk.): *Egyetemes lexikon*. Magyar Könyvklub, Budapest, 2001.
46. Nádasdy Ferenc: *Alapmérések – Anyagvizsgálatok*. 4. kiadás, Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 2008.
47. Orear, Jay: *Modern fizika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
48. Papp József: *Gépipari anyagvizsgálat és mérés technika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
49. Pinke Péter – Kovács-Coskun Tünde: *Mérnöki anyagtudomány. Példatár I.* Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, 2010.
50. Prohászka János: *Bevezetés az anyagtudományba I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
51. Prohászka János.: *A fémek és ötvözetek mechanikai tulajdonságai*. Műegyetemi Kiadó, Budapest 2001.
52. Réti Pál: *Korszerű fémipari anyagvizsgálat*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
53. Simon Sándor: *Fémipari alapképzés szakmai gyakorlat*. 2. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
54. Szabó Imre (főszerk.): *Gépészeti rendszertechnika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
55. Szalay Béla: *Fizika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.
56. Tisza Miklós (szerk.): *Anyagvizsgálat*. Miskolci Egyetemi Kiadó. 2. kiadás, 2005.
57. Vogel, Helmut: *Kompakt fizika*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest, 1995.
58. *** *Hírek*. Nyomtatvány, 3/1996. ESAB Kft., Budapest.

MATERIALS SCIENCE LABORATORY I.

TESTS FOR INVESTIGATION OF MATERIAL PROPERTIES

Summary

Knowledge of Material Science constitutes a significant part of any BSc-level technical education program. Practical activities in the laboratory, or even experiments realized by courses contribute to a better understanding of material properties.

The efficiency of the laboratory work is simulated by involving workgroups having a small number of students. Practical applications are based on frequent phenomenon that appear in industrial production. These lead to instantaneous clarifying of theoretical notions. Moreover, these allow the presentation of the newest scientific results or some interesting peculiar cases, especially industrial applications that are not included in the program of the discipline.

It is important and also necessary to present the constituents, the structure and different assortments of material. Knowledge of physical properties is useful in the designing process, while technological properties determine the machineability. It is also important to know the resistance of corrosion in different industrial applications. This book focuses of the most prevalent testing procedures when quality is described using quantitative attributes that could be measured or/and verified.

First of all are studied properties and corresponding testing procedures that are relevant for the choosing of material type. These properties allow the comparison between different materials having the same field of applicability-unavoidable in the designing phase. The properties and afferent tests accord with standards that describe chemical structure, physical and mechanical properties.

In some cases adequate investigation equipment is missing, or the time and cost level of some test is not justified. Here is to appeal to simplified investigation procedures.

Complex wear resistance of a material can be investigated by inducing cumulative wear processes based experiments. Complex wear resistance can be described by a large set of influence factor values. Based on this factors indications regarding the designing, manufacturing and exploitation criteria can be established.

The present book is of educational importance. It describes first of all the materials that apply to the machinery industry. It presents the investigation tests, the physical and mechanical properties that can be determined by applying a test, and the connected calculus. Investigation of standard properties like tensile strength, hardness or tenacity is at large explained. Crawling stress evolution, fatigue and elements of fracture mechanics are also detailed.

CONTENTS

| | |
|---|----|
| Foreword | 7 |
| 1. Material Science Modules in Engineering Education | 11 |
| 1.1. Introduction | 11 |
| 1.2. The place and the Importance of Laboratory Work in High Education | 12 |
| 1.3. The Tasks and the Functionality of the Laboratory Works..... | 13 |
| 1.4. Types of Practical Activities | 14 |
| 1.5. Seminar and Laboratory Exercises | 16 |
| 1.6. The Preparation of Material Science Practical Modules | 18 |
| 2. Practical programs, Laboratory Rules and Protection against Work-Accident and Fire..... | 22 |
| 2.1. Rules for the Laboratory of Material Science | 22 |
| 2.1.1. Basic Rules for Work Allowing in the Laboratory | 23 |
| 2.1.2. The Obligations of the Students..... | 24 |
| 2.2. General Work Accident and Fire Prevention Instructions | 25 |
| 2.2.1. Safety Instructions..... | 25 |
| 2.2.2. Fire Prevention Instructions | 27 |
| 2.3. Laboratory Report of Measuring or Investigation..... | 28 |
| 3. Tensile Strength Investigation and it's Evaluation | 32 |
| 3.1. Classifying and the Goal of Static Strength Investigations..... | 34 |
| 3.2. Preparation and Geometry of Tensile Test Specimens | 34 |
| 3.3. Tensile Investigation Test..... | 25 |
| 3.4. Evaluation of Tensile Test Experimental Data..... | 37 |
| 3.5. Tensile Test on High Temperatures | 39 |
| 3.6. Tensile Test on Low Temperatures | 40 |
| 3.7. Compression Test | 41 |

| | |
|---|-----|
| 4. Measurement of Hardness | 43 |
| 4.1. Taxonomy of Hardness Measuring Procedures | 43 |
| 4.2. Brinell Hardness Measuring | 44 |
| 4.3. Poldi Hardness Measuring..... | 46 |
| 4.4. Vickers Hardness Measuring..... | 48 |
| 4.5. Knoop Hardness Measuring..... | 49 |
| 4.5. Rockwell Hardness Measuring | 50 |
| 4.7. Shore Hardness Measuring | 53 |
| 4.8. Hardness Measuring by Increased Temperatures..... | 56 |
| 5. Fracture Mechanics Investigation and Control Calculus | 57 |
| 5.1. Ductile and Rigid Fracture: Fissure Formation and Propagation | 57 |
| 5.2. Charpy-Test (Flexion under Stroke)..... | 58 |
| 5.3. Interpretation of K_{Ic} Fracture Toughness and its Assignment Ways | 61 |
| 5.4. Verification Calculus for Diagnosis of Fissures | 63 |
| 6. Analysis of Crawl and Fatigue through Calculus..... | 63 |
| 6.1. The Phenomenon of Crawling and it's Definitory Parameters..... | 66 |
| 6.2. Analysis of Crawling Casualities through Calculus..... | 69 |
| 6.3. The Phenomenon of Fatigue and it's Definitory Parameters..... | 73 |
| 6.4. Analysis of Fatigue Casualities through Calculus..... | 78 |
| 7. Test and Criteria for Identification of Materials | 83 |
| 7.1. Identification by Direct Survey..... | 83 |
| 7.2. Identification Based on Chemical and Mechanical Principles..... | 84 |
| 7.3. Burning Test of Plastic Materials | 85 |
| 7.4. Investigation by Spark Examination (The Bermann-SparkTest) | 85 |
| 8. Who and What More is Worthy of Note..... | 94 |
| 8.1. Miksa Bermann (1861–1925) the „Anatomist of Metals” | 94 |
| 8.2. August Brinell (1849–1925)..... | 97 |
| 8.3. Georges Charpy (1865–1945)..... | 98 |
| 8.4. The Poldi Foundry – Karl Wittgenstein..... | 100 |
| 8.5. Hugh M. Rockwell (1890–1957) and Stanley P. Rockwell (1886–1940) | 101 |
| 8.6. Vickers Ltd..... | 103 |

| | |
|---|-----|
| 8.7. Leonardo da Vinci's (1452–1519) Tensile Tester..... | 104 |
| 8.8. Alan Arnold Griffith (1893–1963) the founder of Fracture Mechanics | 106 |
| 8.9. Titanic in the target of Material Science | 107 |
| Appendix..... | 113 |
| Dictionary..... | 115 |
| Index..... | 129 |
| Bibliography..... | 134 |
| Materials Science Laboratory I. Tests for Investigation of Material Properties (Summary) | 137 |
| Contents..... | 139 |
| Laborübungen an Werkstoffkunde I. Versuchungen für bestimmen die Eigenschaften der Materialien (Zusammenfassung) | 142 |
| Inhalt | 144 |
| Laboratorul științei materialelor I. Încercări pentru stabilirea proprietăților materialelor (Rezumat) | 147 |
| Cuprins | 149 |

LABORÜBUNGEN FÜR WERKSTOFFKUNDE I.

VERSUCHE FÜR DIE BESTIMMUNG VON WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN

Zusammenfassung

Die Werkstoffkunde ist ein hoch-bedeutender Teil des Lehrplans technischer Fachhochschulen. Die praktischen Tätigkeiten im Labor und auch die darstellenden Experimente ergänzen die Vorlesungen und führen zum besseren Verständnis der Werkstoffeigenschaften. Die Laborübungen in kleinen Studentengruppen sind besonders effektiv und die Darstellungsmöglichkeiten der praktischen und industriellen Anwendungen kann dadurch erhöht werden. Diese Zusammenführung ermöglicht die Klarstellung der vorgestellten theoretischen Begriffe, die Analyse neuester wissenschaftlichen Ergebnisse oder besonders interessanter Fälle aus der industriellen Anwendung, die sonst nicht zum Unterrichtsstoff gehören.

Es ist wichtig, die Strukturen und Komponente der Werkstoffe darzustellen. Hinzu kommend werden für die Bestimmung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften die verschiedenen Typen vorgestellt, die in technischen Berechnungen unentbehrlich sind. Die technologischen Eigenschaften sind besonders in Fertigungsprozessen wichtig. Die Planung technischer und industrieller Anwendungen braucht reiflich Kenntnisse über die Korrosionsfestigkeit. Der Schwerpunkt des Buches liegt in der Darstellung der Erfahrungen aus den Versuchen, die Werkstoffqualität durch messbare und überprüfbare Parameter festzustellen.

Zuallererst werden die Eigenschaften und Versuche vorgestellt, die für die Auswahl (Planung) der Werkstoffe bedeutend sind. Diese Beschreibung ermöglicht den Vergleich mehrerer Werkstofftypen und dient auch zur Standardisierung. Nationale und internationale Werkstoffnormen enthalten Daten und Vorschriften am meisten bezüglich chemische Konsistenz oder physikalische und mechanischen Werkstoffeigenschaften.

Es gibt auch Fälle, bei denen – aus Kosten- oder Zeitgründen – keine Möglichkeit oder Nötigkeit einer genauen Bestimmung der Zusammensetzung vorliegt. Diese Fälle können durch die Durchführung einfacher Versuche angenähert werden. Durch die Auswertung der gemessenen Parameter wird auf die Art und die Eigenschaften der studierten Werkstoffe schlussgefolgert.

Die Festigkeit gegen komplexen Verfall ist durch Schadensakkumulationsprozesse experimentell zu bestimmen. Mit Hilfe der meist vieler Einflussfaktoren können Kriterien und Grenzwerte aufgestellt und Planungs-, Produktions- sowie Betriebsaspekte angegeben werden.

Dieses Buch, mit didaktischem Zweck, beschreibt die benutzten Werkstoffe in der Maschinenbauindustrie, die entsprechenden Eigenschaften und die benötigten Berechnungen. Besonders wichtig ist die Vorstellung der Versuche für die in Normen dargestellten Parametern auf Zugfestigkeit, Härte und Zähigkeit. Es stellt ausführlich die Analyse der Ermüdung mit Hilfe von Rechnungen dar. Des Weiteren wird die Veränderung der Kriechspannungen mit Hilfe einzelner Begriffe aus der Bruchmechanik dar. Die theoretischen Konzepte sind durch praktisch einfache Erfahrungen von Werkstoffidentifizierungen ergänzt.

INHALT

| | |
|---|----|
| Vorwort | 9 |
| 1. Werkstoffstechnische-Übungsmodule im Ingenieurstudium | 11 |
| 1.1. Einleitung | 11 |
| 1.2. Die Bedeutung und Lage von Laborübungen in der Hochschulbildung | 12 |
| 1.3. Ziel und Rolle der Laborübungen | 13 |
| 1.4. Arten der praktischen Tätigkeiten | 14 |
| 1.5. Seminar- und Laborübungen | 15 |
| 1.6. Vorbereitung der Werkstoffkunde-Übungsmodulen | 18 |
| 2. Laborvorschriften Unfall- und Brandschutz | 22 |
| 2.1. Arbeitsvorschriften im Werkstoffprüflabor | 22 |
| 2.1.1. Grundregeln der Laborarbeit | 23 |
| 2.1.2. Studentenpflichten im Labor | 24 |
| 2.2. Allgemeine Laborvorschriften des Unfall- und Brandschutzes | 25 |
| 2.2.1. Unfallschutzvorschriften | 25 |
| 2.2.2. Brandschutzvorschriften | 27 |
| 2.3. Laborprotokoll von Messungen/Prüfungen | 28 |
| 3. Der Zugversuch und dessen Auswertung | 32 |
| 3.1. Ziel und Einteilung von statischen Festigkeitsprüfungen | 34 |
| 3.2. Die Formen und die Vorbereitung der Proben | 34 |
| 3.3. Die Ausführung des Zugversuches | 35 |
| 3.4. Die Messdatenauslegung und die Auswertung des Zugversuches | 37 |
| 3.5. Zugversuch bei hoher Temperatur | 39 |
| 3.6. Zugversuch bei niedriger Temperatur | 40 |
| 3.7. Der Druckversuch | 41 |

| | |
|--|-----|
| 4. Messung der Härte | 43 |
| 4.1. Einteilung der Härtemessverfahren | 43 |
| 4.2. Härteprüfung nach Brinell | 44 |
| 4.3. Härteprüfung nach Poldi | 46 |
| 4.4. Härteprüfung nach Vickers | 48 |
| 4.5. Härteprüfung nach Knoop | 49 |
| 4.6. Härteprüfung nach Rockwell | 50 |
| 4.7. Härteprüfung nach Shore | 53 |
| 4.8. Härtemessen bei erhöhter Temperatur | 56 |
| 5. Bruchmechanische Prüfungen und Kontrollrechnungen | 57 |
| 5.1. Zähbruch und Sprödbbruch: Rissbildung und Rissaufbereitung | 57 |
| 5.2. Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy | 58 |
| 5.3. Definition und Bestimmung der K_{Ic} Bruchzähigkeit | 61 |
| 5.4. Beurteilung der Rißbildungsgefahr mit Kontrollrechnungen | 63 |
| 6. Analyse von Kriechen und Ermüdung durch Rechnungen | 66 |
| 6.1. Kriecherscheinung und Prüfungskennwerte | 66 |
| 6.2. Kriechfallstudien mit Rechnungen | 69 |
| 6.3. Ermüdungserscheinung und Prüfungskennwerte | 73 |
| 6.4. Ermüdungsfallstudien mit Rechnungen | 78 |
| 7. Versuche und Aspekte der Werkstoffidentifizierung | 83 |
| 7.1. Werkstoffidentifizierung mit Sichtprüfung | 83 |
| 7.2. Mechanische und chemische Werkstoffidentifizierung | 84 |
| 7.3. Brennung- und Heizungsprobe von Kunststoffen | 85 |
| 7.4. Werkstoffprüfung durch Funkprobe (Bermann-Funkprobe) | 85 |
| 8. Gut zu wissen, gut zu kennen | 94 |
| 8.1. Miksa Bermann (1861–1925) der „Stahlanatom“ | 94 |
| 8.2. August Brinell (1849–1925) | 97 |
| 8.3. Georges Charpy (1865–1945) | 98 |
| 8.4. Giesserei Poldi – Karl Wittgenstein | 100 |
| 8.5. Hugh M. Rockwell (1890–1957) und Stanley P. Rockwell (1886–1940) | 101 |
| 8.6. Vickers Ltd. | 103 |

| | |
|--|-----|
| 8.7. Zerreißmaschine von Leonardo da Vinci (1452–1519) | 104 |
| 8.8. Alan Arnold Griffith (1893–1963), der Gründer der Bruchmechanik..... | 106 |
| 8.9. Titanic, im Fokus der Werkstoffkunde | 107 |
| Anhang | 113 |
| Wterbuch | 115 |
| Index..... | 129 |
| Literatur..... | 134 |
| Materials Science Laboratory I. Tests for Investigation of Material Properties (Summary) | 137 |
| Contents | 139 |
| Laborübungen an Werkstoffkunde I. Versuchsungen fr bestimmen die Eigenschaften der Materialien (Zusammenfassung) | 142 |
| Inhalt | 144 |
| Laboratorul tiinei materialelor I. ncercri pentru stabilirea proprietăților materialelor (Rezumat) | 147 |
| Cuprins | 149 |

LABORATORUL ȘTIINȚEI MATERIALELOR I.

ÎNCERCĂRI PENTRU DETERMINAREA PROPRIETĂȚILOR MATERIALELOR

Rezumat

Predarea cunoștințelor din domeniul științei materialelor constituie o latură semnificativă a programelor de învățământ tehnic superior. Activitățile practice efectuate în laborator sau chiar și experimentele prezentate în sala de curs ajută la înțelegerea mai profundă a proprietăților materialelor. Eficacitatea lucrărilor de laborator este accentuată prin desfășurarea activității cu grupe mici, precum și prin aplicațiile practice analizate care, fiind bazate pe fenomene des întâlnite în practica industrială, conduc la clarificarea imediată a noțiunilor teoretice prezentate. Mai mult, acestea permit prezentarea celor mai noi rezultate ale cercetării, ale unor cazuri particulare de interes deosebit, ale unor aplicații industriale speciale, în afara programei analitice ale disciplinei.

Este necesar ca în cadrul orelor de laborator să se discute și să se prezinte constituenții, structura și sortimentele materialelor, dar și proprietățile fizice utile în procesul de proiectare organologică, cele tehnologice definitorii ai prelucrabilității, precum și rezistența la coroziune în diverse aplicații industriale. Totodată se pune accentul pe prezentarea celor mai răspândite metode de încercare, în scopul stabilirii calității prin attribute cantitative măsurabile respectiv verificabile.

În primul rând sunt tratate acele proprietăți ale materialelor și metodele de încercare aferente, care sunt relevante la alegerea materialelor în faza de proiectare, permit comparația între mai multe tipuri de materiale, având aceeași destinație aplicativă și, nu în ultimul rând, cele relevante în standardizare. Standardele interne și internaționale de materiale conțin în primul rând informații privind componența chimică, proprietățile fizice și cele mecanice.

Există cazuri în care nu se dispune de echipament experimental adecvat, cheltuielile financiare și de timp necesare unui anumit tip de încercare sunt nejustificate de ridicate, ori nu este nevoie de stabilirea exactă a componenței materialului pentru identificarea acestuia. În aceste situații se recurge la încercări simplificate, de pe urma cărora se pot trage concluzii asupra proprietăților și tipului materialului analizat.

Rezistența împotriva deteriorării complexe pentru un tip de material se poate determina experimental prin inducerea unor procese de deteriorare cumulate. De regulă, această proprietate se descrie printr-un număr mare de factori de influență, în baza cărora se pot prescrie și criteriile de proiectare, fabricație și exploatare.

Prezenta carte, cu destinație didactică, tratează în primul rând încercările materialelor destinate construcțiilor de mașini, proprietățile determinabile prin încercările respective și problemele de calcul conexe acestora. O importanță deosebită se atribuie determinării caracteristicilor standard – rezistența la rupere, duritatea, reziliența. Prezintă detaliat analiza prin calcule a oboselii, a evoluției tensiunilor remanente, folosind și noțiuni de bază de mecanica fracturilor. Domeniile prezentate sunt completate prin prezentarea unor soluții simple de identificare a materialelor.

CUPRINS

| | |
|---|----|
| Prefață..... | 9 |
| 1. Module de laborator de știința materialelor în formarea inginerilor | 11 |
| 1.1. Introducere..... | 11 |
| 1.2. Locul și importanța activităților practice în învățământul universitar | 12 |
| 1.3. Problematica și funcțiile lucrărilor de laborator | 13 |
| 1.4. Tipurile activităților practice..... | 14 |
| 1.5. Exerciții de laborator și de seminar..... | 15 |
| 1.6. Pregătirea modulului de laborator la știința materialelor..... | 18 |
| 2. Programul de laborator, regulamentul intern, norme de securitatea muncii | 22 |
| 2.1. Regulamentul intern al laboratorului de încercarea materialelor | 22 |
| 2.1.1. Reguli de bază pentru efectuarea muncii în laborator..... | 23 |
| 2.1.2. Îndatoririle studenților..... | 24 |
| 2.2. Reguli generale de protecția muncii și de paza și prevenirea incendiilor..... | 25 |
| 2.2.1. Reguli de protecția muncii | 25 |
| 2.2.2. Prevederi de pază și prevenirea incendiilor | 27 |
| 2.3. Procesul verbal de examinare/măsurare..... | 28 |
| 3. Încercarea la tracțiune și evaluarea acesteia..... | 32 |
| 3.1. Taxonomia și scopul încercărilor statice | 34 |
| 3.2. Forma și pregătirea epruvetelor pentru încercări de tracțiune | 34 |
| 3.3. Efectuarea încercării la tracțiune | 35 |
| 3.4. Interpretarea și evaluarea datelor experimentale provenite dintr-o încercare la tracțiune | 37 |
| 3.5. Încercarea la tracțiune la temperaturi ridicate | 39 |
| 3.6. Încercarea la tracțiune la temperaturi joase..... | 40 |
| 3.7. Încercarea la compresiune | 41 |

| | |
|--|-----|
| 4. Măsurarea durității | 43 |
| 4.1. Clasificarea procedeeleor de măsurare a durității | 43 |
| 4.2. Măsurarea durității Brinell..... | 44 |
| 4.3. Măsurarea durității Poldi | 46 |
| 4.4. Măsurarea durității Vickers | 48 |
| 4.5. Măsurarea durității Knoop | 49 |
| 4.6. Măsurarea durității Rockwell..... | 50 |
| 4.7. Măsurarea durității Shore..... | 53 |
| 4.8. Măsurarea durității la temperaturi ridicate..... | 56 |
| 5. Încercări de rupere și calcule de verificare aferente | 57 |
| 5.1. Ruperea tenace și cea fragilă: producerea și propagarea fisurilor..... | 57 |
| 5.2. Încercarea de încovoiere cu șoc Charpy | 58 |
| 5.3. Interpretarea rezilienței K_{Ic} și posibile căi de determinare ale acesteia | 61 |
| 5.4. Aprecierea gradului de periculozitate a fisurii prin calcul | 63 |
| 6. Analiza propagării tensiunilor și oboselii prin calcul..... | 66 |
| 6.1. Fenomenul de fluaj și parametrii caracteristici ai acestuia..... | 66 |
| 6.2. Analiza prin calcul a diferitelor cazuri de fluaj | 69 |
| 6.3. Fenomenul de oboseală și parametrii caracteristici ai acestuia..... | 73 |
| 6.4. Analiza prin calcul a diferitelor cazuri de oboseală..... | 78 |
| 7. Încercări și criterii de identificare ale materialelor | 83 |
| 7.1. Identificare prin observație directă..... | 83 |
| 7.2. Identificare în baza principiilor chimice și mecanice | 84 |
| 7.3. Proba de ardere a materialelor plastice..... | 85 |
| 7.4. Încercare prin scânteie (proba Bermann) | 85 |
| 8. Persoane și lucruri demne de reținut | 94 |
| 8.1. „Anatomistul materialelor metalice” Bermann Miksa (1861–1925) | 94 |
| 8.2. August Brinell (1849–1925) | 97 |
| 8.3. Georges Charpy (1865–1945) | 98 |
| 8.4. Turnătoriu Poldi – Karl Wittgenstein | 100 |

| | |
|---|-----|
| 8.5. Hugh M. Rockwell (1890–1957) și Stanley P. Rockwell (1886–1940) | 101 |
| 8.6. Vickers Ltd. | 103 |
| 8.7. Aparatul de încercat la tracțiune a lui Leonardo da Vinci (1452–1519) | 104 |
| 8.8. Alan Arnold Griffith (1893–1963), fondatorul mecanicii de rupere..... | 106 |
| 8.9. Titanicul în centrul atenției științei materialelor | 107 |
| Anexă..... | 113 |
| Dicționar | 115 |
| Index..... | 129 |
| Bibliografie | 134 |
| Materials Science Laboratory I. Tests for Investigation of Material Properties (Summary) | 137 |
| Contents..... | 139 |
| Laborübungen an Werkstoffkunde I. Versuchungen für bestimmen die Eigenschaften der Materialien (Zusammenfassung) | 142 |
| Inhalt | 144 |
| Laboratorul științei materialelor I. Încercări pentru stabilirea proprietăților materialelor (Rezumat) | 147 |
| Cuprins | 149 |

A SOROZAT EDDIG MEGJELENT KÖTETEI:

1. Jodál Endre: *Számítástechnika az ezredforduló küszöbén.* 1992.
2. Pálfalvi Attila: *Porkohászat.* 1993.
3. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Bevezetés az anyagtechnológiák informatikájába.* 2007.
4. Bitay Enikő: *Lézeres felületkezelés és modellezés.* 2007.
5. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Felületkezelés.* 2009.
6. Forgó Zoltán: *Bevezetés a mechatronikába.* 2009.
7. Tolvaly-Roşca Ferenc: *A számítógépes tervezés alapjai. AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek.* 2009.
8. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika I. Eljárások és gépesítés.* 2010.
9. Bagyinszki Gyula – Bitay Enikő: *Hegesztéstechnika II. Berendezések és mérések.* 2010.
10. Máté Márton: *Műszaki mechanika – kinematika.* 2010.

ELŐKÉSZÜLETBEN:

12. Máté Márton: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámai*

A műszaki felsőoktatás fontos részterülete az anyagtudomány oktatása. Az előadásokon bemutatott szerkezeti anyagok jobb megismerését szolgálják a tantermi és a laboratóriumi gyakorlati foglalkozások.

A gyakorlatokon célszerű, illetve szükséges foglalkozni az anyagok összetevőivel, szerkezetével, választékával, konstrukciós tervezéshez alapot adó fizikai tulajdonságaival, technológiai szempontú megmunkálhatóságával, valamint üzemeltetés közbeni károsodásállóságával és ezek mérhetőségét, számszerűsíthetőségét, ellenőrizhetőségét – azaz az anyagminősítést – lehetővé tevő fontosabb vizsgálati módszerekkel.

Ez az oktatási irányultságú könyv – az anyagtudományi laboratórium sorozat első köteteiként – a szerkezeti anyagok tulajdonságminősítő vizsgálataival, illetve az azokhoz kapcsolódó számítási feladatokkal foglalkozik. Kiemelt szerepet kapnak a szabványos anyagjellemzők – szilárdság, keménység, ütőmunka – meghatározási módszerei, a törésmechanika alapjai, valamint a kúszás és a kifáradás számítással történő elemzése. Ezen részterületek kiegészülnek még az anyagazonosítás egyszerű megoldásaival.

ISBN 978-606-8178-31-8



9 786068 178318