

## Az anyagvizsgálat története

"Az emberiség történetének bármely periódusában a mindennapi élethez szükség volt használati eszközökre, amelyeket az adott kor gazdasági-társadalmi korlátai adta keretek között állítottak elő. Ebből adódóan szükség volt az anyagok felhasználás szempontjából lényeges tulajdonságainak ismeretére."

A mögöttünk hagyott 20. században a tudomány – elsősorban a fizika és az anyagtudomány, és ennek nyomán a műszaki tudományok (elsősorban az elektronika, a számítástechnika, az informatika) – vala- mint a technika dinamikus fejlődése lehetővé tette olyan, korábban csak

a fantázia világában létezett, eszközök és eljárások kifejlesztését, amelyek széles körű alkalmazásával egyrészt gazdaságosabban kielégít- hetők a létszámában növekvő emberiség igényei, másrészt az alkalmazásukkal szerzett pozitív és negatív tapasztalatok újabb társadalmi igényeket is ébresztenek, amelyek anyag- és energiatakarékos, a természeti környezettel harmonizáló, gazdaságilag is motivált, kielégítésére készítetik az alap- és alkalmazott kutatásokat végzőket, és az eredményeket hasznosító gyártmány- és technológia-fejlesztőket. Ugyanakkor azt is megállapíthatjuk, hogy nőtt a termékek, különösen a mikro- és ma már a nano-méretű elektromechanikai rendszerek (angol betűszóval: MEMS, NEMS), összetettsége; továbbá, megnőtt a termékek minősége és használatuk megbízhatósága, biztonsága iránti igény. A termék minőségét, használatának megbízható és biztonságos voltát pedig hitelesített ellenőrző vizsgálatokkal és mérésekkel kell alátámasztani.

Mindez együtt azt is jelenti, hogy a termék- és technológia-fejlesztéssel párhuzamosan a roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálati, mérési és ellenőrzési módszereket és eszközöket is fejleszteni kell. A párhuzamosan futó fejlesztések kölcsönhatásának eredménye: a korszerű mérőérzékelőkkel felszerelt, számítógéppel és szakértői szoftverrel támogatott vizsgálóberendezések. Az univerzális és speciális mechanikai vizsgálógépek mellett e tekintetben különösen szembetűnő a „hullámok” szóródásán alapuló – a technológiai sorba telepíthető és a hordozható – roncsolásmentes vizsgálóberendezések fejlődése. A korszerű ultrahang- és örvényáramú készülékekkel a keresett anyagihiányok helye, alakja és mérete ma már egyre megbízhatóbban és jól reprodukálhatóan kimutathatók és a vizsgálatok archivált eredményei egy újabb időszakos ellenőrzés eredményeivel összevethetők. De a kutatóreaktort neutronforrásként használó neutronradiográfia hazánkban is ipari alkalmazást nyert, például az abszorpciós és a kompresszoros hűtőgépek fejlesztésénél.

## Az anyagszerkezet roncsolásmentes vizsgálata:

### **-Röntgenvizsgálat:**

Fizikai elv:

A különböző  $\gamma$ -sugárforrások jó áthatoló képességgel rendelkeznek. A sugárzás intenzitása az anyagon áthaladva gyengül. Egy adott kezdő intenzitású sugárzás gyengülésének a mértékét a sugárzás energia spektruma, az átsugárzott vastagság, az anyag és a távolság befolyásolják.



A vizsgálat leírása:

A vizsgálandó darab egyik oldalán egy megfelelően megválasztott  $\gamma$ -sugárforrást helyezünk el, a másik oldalán pedig egy sugárzásra érzékeny filmet. A sugárforrásból kilépő sugárzás áthatol a vizsgálati darabon, miközben az intenzitása gyengül. A gyengülés mértéke függ a vizsgálati darab anyagától és vastagságától, a sugárforrás típusától és az átsugárzott darabban lévő folytonossági hiányok (hibák) nagyságától és fajtájától.

Így a darabon áthaladó sugárzás, egy arra érzékeny filmen létrehozza vizsgált terület síkba transzformált képét.

Az expozíciót követően a röntgen filmet a fototechnikából ismert eljáráshoz hasonló módon előhívjuk, majd a száradást követően egy nagy fényerejű lámpával átvilágítjuk. Így láthatóvá válik a vizsgált terület síkba transzformált negatív képe. A radiográfiai felvételen a kisebb intenzitású sugárzással érintkező területek világosabbak, míg a nagyobb intenzitásával érintkezők sötétebbek. A kép értékelés során feljegyezzük a láthatóvá vált hibákat.

Változatai:

A sugárforrás típusától függően megkülönböztetünk izotópos (pl.:  $^{75}\text{Se}$  vagy  $^{192}\text{Ir}$  ipari radiográfiai sugárforrás alkalmazásával) és röntgen (különböző energiájú ipari röntgenberendezések alkalmazásával) vizsgálatot. A vizsgálat érzékenysége függ a sugárforrás típusától (energia spektrumától), az átsugárzott darab vastagságától, a film-fókusz és a film-tárgy távolságtól, az alkalmazott röntgenfilm felbontásától (érzékenységétől), valamint a radiográfiai film feketedésétől.

Egy adott radiográfiai felvételre előírt képminőséget és a fent felsorolt tényezőkre vonatkozó határértékeket általában a különböző szabványok tartalmazzák és szabályozzák (pl.: MSZ EN 1435)

A vizsgálat korlátai:

Csak azok a darabok vizsgálhatók vele, ahol a darab egyik oldalán, kellő távolságban el lehet helyezni a sugárforrást, míg a másik oldalán pedig el lehet helyezni a röntgenfilmet. A maximális átsugározható vastagságnak fizikai korlátai vannak, függ a darab anyagától, a sugárforrás típusától és erősségétől.

A minimális átsugározható vastagságot alapvetően a sugárforrás típusa, illetve a különböző  $\diamond$  vizsgálati érzékenységre vonatkozó  $\diamond$  előírások szabályozzák.

A sugárzás útjába a vizsgálati darabon kívül nem kerülhet olyan anyag, amely meggátolja, jelentősen csökkenti vagy szórja a sugárzást (pl.: víz, olaj, egyéb szerkezeti anyagok stb.) A vizsgált darab hőmérséklete általános esetben ne haladja meg a  $+50^\circ\text{C}$ -ot.

Mire jó:

Felületi és belső (az átsugárzott anyagban lévő) hibák kimutatására alkalmas.

Jól kimutatható vele:

A vizsgálat különösen érzékeny a térfogatos jellegű hibák (pl.: gázzárvány, salakzárvány, stb.) kimutatására. Sík jellegű hibák (pl.: repedés, hegesztési varrat kötésihibája) akkor mutathatók ki jól, ha a sugárzás iránya és a síkjellegű hiba síkja közel párhuzamos.

Rosszul detektálható:

A vizsgálat kevésbé érzékeny az olyan síkjellegű hibákra, ahol a sugárzás iránya és a hiba síkja  $5^\circ$ -nál nagyobb mértékben tér el egymástól.

A vizsgálattal nem mutathatók ki az olyan síkjellegű hibák, amelyeknek a síkja sugárzás irányára közel merőleges.

Szükséges vizsgálati felület:

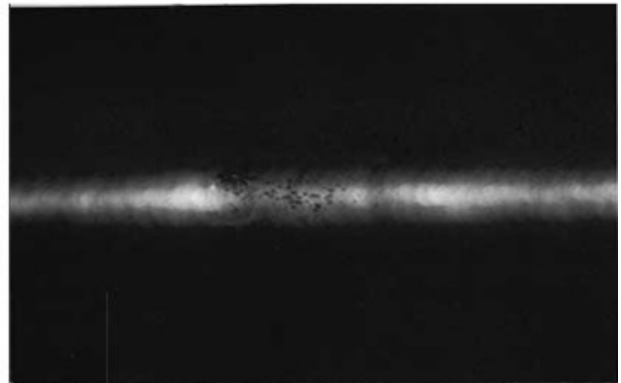
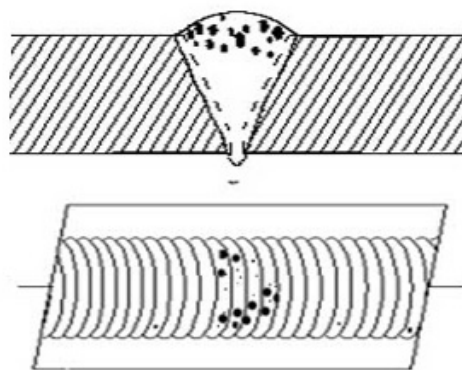
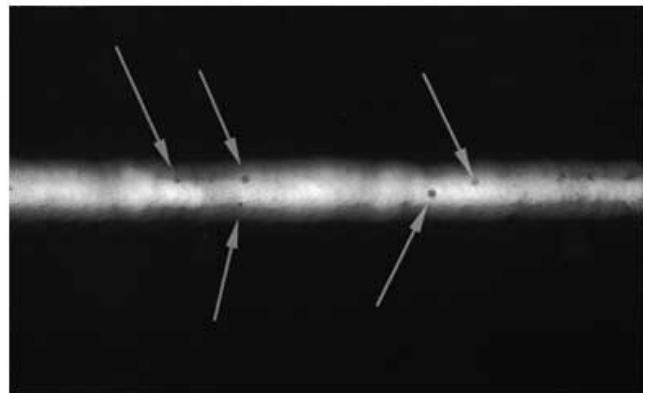
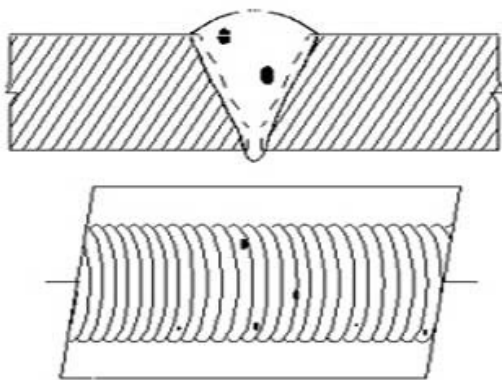
A vizsgálat előtt el kell távolítani azokat a felületi egyenetlenségeket, amik a radiográfiai filmen fizikai sérülést okozhatnak.

A vizsgálati felület lehetőleg legyen száraz és zsírmentes.

Környezeti feltételek:

A vizsgálathoz megfelelően megvilágított vizsgálati helyszín szükséges. Mivel a radioaktív sugárzás káros az egészségre, ezért a vizsgálat elvégzéséhez kellő nagyságú területet le kell zárni. Ezen a területen belül csak a vizsgálók tartózkodhatnak. A lezárandó terület nagysága függ a helyszín kialakításától, a sugárzás fajtájától és erősségétől.

Nagyon fontos, hogy a vizsgálati darab kellő módon megközelíthető és hozzáférhető legyen.



## **-Ultrahangos vizsgálat**

**Fizikai elv:** A vizsgálati darabba bevezetett ultrahang a darabban terjed és akusztikai határfelülethez érve, egy része átvezetődik, egy része pedig visszaverődik. A visszaverődő és átvezetődő hangenergia arányát az akusztikai határfelület két oldalán lévő anyagok akusztikai keménységének az aránya, a határfelület geometriája, a beesés szöge, valamint az ultrahang hullám típusa (transzverzális vagy longitudinális) és frekvenciája határozzák meg.



A különböző vizsgálókészülékek képesek az ultrahang előállítására, majd a vizsgálati darabba való bejuttatást követően a különböző határfelületekről visszavert ultrahang érzékelésére.

**A vizsgálat leírása:** A megfelelő felületi előkészítést követően az ultrahang közvetlen létrehozását, valamint a visszavert ultrahang érzékelését biztosító vizsgálófejet a megfelelő csatolóközeg (pl. olaj) alkalmazásával a vizsgálati darabhoz illesztjük. A vizsgálókészülék, megfelelő etalonokon történt geometriai és érzékenységi beállítását követően lehetővé válik az ultrahang visszaverődését okozó akusztikai határfelület (reflexiós felület) helyének, valamint a visszavert ultrahang energia nagyságának a pontos mérése.

Az ultrahang visszaverődését okozó határfelület lehet valamilyen folytonossági hiány (hiba), vagy a vizsgálati darab vizsgálófejjel ellentétes oldala (pl. hátfal).

A vizsgálat során nemcsak a visszaverődés helye állapítható meg, hanem a visszaverődés mértéke is, amiből következtetni lehet a visszaverő felület nagyságára.

Mivel a visszavert ultrahang energia nagymértékben a visszaverő felület reflexiós képességétől függ, ezért hibakereső vizsgálat során csak ún. helyettesítő reflektor nagyságban lehet a hiba méretét megadni. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a hiba méretét egy ismert nagyságú mesterséges modellreflektor méretéhez viszonyítva adjuk meg. (pl.: A darabban talált hibáról ugyanannyi hangenergia verődik vissza, mint egy 3 mm-es keresztirányú hengeres furatról.) Az így megadott méret nem azonos a hiba fizikai méretével!

### **Változatai:**

**Falvastagságmérés, Ultrahangos falvastagságmérés:** Egy oldalról hozzáférhető felületek esetén lehetővé teszi a vizsgálófej alatti felületen a maradó falvastagság pontos mérését. A vizsgálatot általában speciálisan erre a célra kifejlesztett digitális műszerrel végezzük. A mérési pontosságot nagymértékben befolyásolja a felületi előkészítés, a mérendő vastagság, az alkalmazott vizsgálófej frekvenciája és a készülék

A megfelelő előkészítés és sima vizsgálati felület esetén általában 1 %, de legalább  $\pm 0,1$  mm a mérési pontosság.

Speciális műszer alkalmazásával akár vastag festékrétegen keresztül is kivitelezhető a pontos vizsgálat. (a festékréteg belemérése nélkül!!!)

**Hibakereső ultrahangos vizsgálat:** Általában hegesztési varratok, öntvények, kovácsolt, illetve alakított termékek, forgácsolt alkatrészek hibakereső vizsgálatára szolgál mérőleges, illetve szögsugárzó fejek alkalmazásával. A vizsgálatot impulzus-visszhang elven működő általános célú digitális vagy analóg műszerrel végezzük.

A vizsgálat korlátai: A vizsgálati darab anyaga, szemcseszerkezete nagymértékben befolyásolja a vizsgálati távolságot, a kimutatható hibaméretet és ezen keresztül a darab vizsgálhatóságát. Előfordulhat, hogy a vizsgálati darabban olyan nagy mértékű az ultrahang

gyengülése illetve olyan nagy méretű a szemcsékről visszaverődő jelek nagysága, hogy ez lehetetlenné teszi a vizsgálatot. Ilyen jellegű problémák általában egyes öntvényeknél, ausztenites anyagoknál, illetve egyes nem vas fémek esetén (pl. bronz) léphetnek fel. Szabvány szerinti hibakereső ultrahangos varratvizsgálatot általában 8 mm-es anyagvastagság fölött lehet végezni. Ennél kisebb anyagvastagságnál - külön vizsgálati technológia alapján - nem szabványos vizsgálat végezhető, de a hibakimutatás biztonsága csökken. Az erősen tagolt vizsgálati (besugárzási) felületek sok esetben lehetetlenné teszik a vizsgálat elvégzését. Meghíúsíthatja a vizsgálat elvégzését a durva, egyenetlen besugárzási felület illetve a nem megfelelő felületi előkészítés is. Erősen ívelt besugárzási felületek korlátozhatják az alkalmazható besugárzási irányokat. A vizsgálat értékelhetőségéhez mindenképpen szükséges a darab geometriájának, kialakításának pontos ismerete.

**Mire jó?** Felületi és belső hibák kimutatására alkalmas.

Jól kimutatható vele: Megfelelő irányú besugárzás esetén a vizsgálat különösen érzékeny a sík jellegű hibákra, de a térfogatos hibák is kimutathatók. Igen jól kimutatható a vizsgálati darabban a besugárzott ultrahang irányára merőleges határfelület (ez az alapja a falvastagság mérésnek!)

**Rosszul detektálható:** A vizsgálat kevésbé érzékeny a kisméretű térfogatos hibákra.

**Szükséges vizsgálati felület:** A besugárzási felületről el kell távolítani a vizsgálofej vezetését gátló felületi egyenetlenségeket, és megfelelő simaságú felületet kell biztosítani. A felületen nem maradhat semmilyen lazán tapadó szennyeződés (pl.: rozsa, reve, stb.), ezek ugyanis meggátolják az ultrahang bevezetését a darabba.

A felület-előkészítés minősége szorosan összefügg a vizsgálhatósággal és a kimutatható hibanagysággal is!

A besugárzási felület nagyságát és helyét a konkrét vizsgálati feladat ismeretében lehet megadni.

**Környezeti feltételek:** A vizsgálatot lehetőleg zavaró tényezőktől mentes környezetben kell elvégezni. Helyszíni vizsgálatok során kizáró ok lehet pl. az erős eső, havazás. A vizsgálati darab hőmérséklete hibakereső vizsgálat esetén ne haladja meg a + 50°C-ot.

Falvastagságmérés esetén, speciális vizsgálofejek alkalmazása mellett lehetőség van ennél jóval magasabb hőmérsékletű felületen is a vizsgálat elvégzésére (magas hőmérsékleten végzett vizsgálat esetén jelentősen csökkenhet a mérés pontossága).

Nagyon fontos, hogy a vizsgálati darab kellő módon megközelíthető és teljes mértékben hozzáférhető legyen.



**-Színképelemzés (Spektroszkópia) vizsgálat** Régi, üzemelő berendezéseken alkatrészek pótlásakor, javító hegesztés technológiai



tervezésekor vagy új szerelésnél az idegen anyagok beépítésének ellenőrzésére használják a kézi spektroszkópos vizsgálatot, aminek előnye a kis helyigény, és hogy szinte mindenhova odafer. A módszer ötvözetek fémes ötvözőit tudja kimutatni, ezért anyagazonosításra és anyag szétválogatásra egyaránt alkalmas. Általában helyszíni keménységméréssel egészül ki.

## **-Akusztikus emissziós vizsgálat**

**Fizikai elv:** A vizsgálat fizikai alapja az ötvözetek képlékeny alakváltozásának mechanizmusában, a diszlokációk mozgásában keresendő. Amíg a terhelés hatására a szerkezet csak a rugalmassági határon belül alakváltozik, addig csak a rács deformálódik időlegesen azaz a rácsban atommozgás, vándorlás nem történik. Amikor a terhelés elér egy olyan szintet, hogy a szerkezeti anyag részlegesen megfolyik, képlékeny alakváltozást szenved, akkor a deformálódott zónában az atomelmozdulás diszlokációseregek vándorlásával zajlik. A diszlokációknak mozgásuk során le kell győzniük a rács szabálytalanságait, idegen atomokat, kiválásokat stb. Ezeknek az akadályoknak a legyőzése során 100 kHz-800 kHz frekvencia sávba eső rugalmas hullámok keletkeznek, amiket megfelelő érzékelőkkel észlelni lehet. Több érzékelő alkalmazásával a hullámok keletkezési helye is meghatározható, azaz a forrásokat lokalizálni lehet.

Szivárgás keresés esetén az érzékelőkkel a szivárgás esetén a kis réseken kiáramló közeg turbulenciájából adódó zajokat észleljük és ezeknek a helyét (azaz így a szivárgás helyét) lehet lokalizálni.



**A vizsgálat leírása:** A vizsgált szerkezetre előre megtervezett rendben és sűrűségben feltelepítjük az akusztikus érzékelőket.

A vizsgálatok megkezdése előtt ellenőrizzük a rendszer működőképességét (csatolás teszt, ceruza teszt, sebesség mérés, csillapodás mérés stb.). A terhelést jellemző analóg jelforrásokat csatlakoztatjuk a vizsgáló berendezéshez (pl.: nyomástávadó, hőmérséklet szonda, stb.). A terhelés növelésének kezdetekor elindítjuk a mérést. A terhelést előre meghatározott program szerint kell végrehajtani! A mérést a terhelés megszüntetésekor fejezzük be. A mérés során kapott eredmények értékelésére a mérés közben (on-line) és azt követően (off-line) is van lehetőség. A mérési eredményeket speciális szoftver segítségével értékeljük, mely lehetőséget teremt az egyes források lokalizálására illetve jellemzésére. Mivel a vizsgálatot csak a szerkezet terhelése közben lehet elvégezni, így nyomástartó edények esetén ez legegyszerűbben a (hatósági) nyomáspróba alatt kivitelezhető.

Szivárgás vizsgálat esetén az érzékelőket kellő sűrűséggel a tartályra telepítjük, majd a mérés során figyeljük, hogy a mérés során lokalizálunk-e szivárgási helyet. Ezt vizsgálati formát lehet folyamatos megfigyelésre, illetve monitorozásra is használni például nagyméretű tárolótartályok esetén.

**Változatai:** Terhelt szerkezetek, nyomástartó edények vizsgálata. Speciális felhasználás a szivárgás-keresés (ez a módszer a szivárgás helyén kialakuló, turbulens áramlásból adódó zajokat érzékeli).

**A vizsgálat korlátai:** Csak azok a hibák mutathatók ki (a szivárgáskeresés kivételével),

amelyek az adott terhelés mellett aktívak, azaz az adott terhelés mellett növekednek, vagy képlékeny alakváltozás jön létre a környezetükben. A vizsgálati módszerrel a teljes terhelt szerkezet integritását vizsgáljuk. A módszer alkalmazásával kapott eredmények értelmezésénél azonban mindenképpen figyelembe kell venni, hogy az eljárással az adott terhelési szint mellett passzív, azaz az adott terhelési szint mellett a szerkezetre nem veszélyes hibák nem mutathatók ki. Ezek alapján, ha egy szerkezetben nem találunk aktív forrásokat ez nem azt jelenti, hogy a szerkezet hiba mentes, hanem azt, hogy az adott terhelés mellett nincs a szerkezetben olyan hiba amelyiknek a környezetében a terhelés hatására képlékeny alakváltozás jön létre vagy esetleg terjed.

A vizsgálatot megghiúsíthatja, ha a vizsgálatot megelőzően (pl. házi nyomáspróbánál) a szerkezetet addig a szintig terhelik, ahol a mérés is történne. Ilyenkor a vizsgálat során csak az előző terhelési szint fölött megszólaló hibák mutathatók ki (Kaiser-effektus).

A jelentős külső zajforrások jelentősen ronthatják a vizsgálat érzékenységét. Csak a terhelés alatti felületek vizsgálhatók. További korlátot jelenthet a szerkezet mérete, mivel minél nagyobb felületen kell vizsgálni, annál több érzékelőt kell telepíteni (itt a határt a vizsgálókészülék jelentheti, mivel típusonként korlátozott a maximálisan alkalmazható érzékelők száma).

**Mire jó:** Mivel a makroszkopikus anyaghibák (repedés, zárvány, stb.) feszültséggyűjtő helyekként működnek, ezért a terhelés hatására ezeknek a környezetében indulnak meg a helyi alakváltozások. Az akusztikus emisszió a makroszkopikus hibák környezetében, a diszlokációmozgás során kialakuló megfolyásokban keletkező hanghullámokat észleli, a tönkremenetel kezdeti stádiumában és be tudja határolni a szerkezetre veszélyes hibákat. Az adott terhelésen ki lehet mutatni a veszélyes hibákat és legalább 4 érzékelő alkalmazása esetén lokalizálni lehet a forrás helyét is. Szükség esetén a kritikus helyeket egyéb roncsolásmentes vizsgálati módszerrel megvizsgálva behatárolható a hiba típusa illetve fajtája.

Szivárgás vizsgálat esetén a módszerrel lokalizálható a szivárgás helye.

**Jól kimutatható vele:** A terhelt szerkezeti részeken előforduló sík jellegű hibák.

**Rosszul delektálható:** A vizsgálat kevésbé érzékeny a kisméretű térfogatos jellegű hibákra.

**Szükséges vizsgálati felület:** A vizsgálat nem igényel jelentős felületi előkészítést, adott esetben részleges szigetelés-bontás (érzékelők telepítési helyein) mellett is elvégezhető. Az érzékelők alatt fémtiszta felületet kell biztosítani (kb.  4 - 6 cm<sup>2</sup>-es területen), illetve megfelelő hozzáférést az érzékelők telepítéséhez.

**Környezeti feltételek:** Lehetőleg száraz vizsgálati környezet szükséges. Szabadtéren végzett vizsgálat során az eső ronthatja a vizsgálati érzékenységet. (Az esőcseppek akusztikus jelet eredményeznek, amikor a vizsgálati darab felületére ütődnek). A vizsgált szerkezet, edény környezetében lehetőleg meg kell szüntetni a zajforrásokat és a mérés közben kerülni kell a vizsgálat darabbal való érintkezést. A vizsgált darab hőmérséklete korlátozhatja a vizsgálatot, mivel az ultrahangos érzékelő fejek tartósan nem viselnek el magasabb hőmérsékletet. A vizsgálati darab hőmérséklete lehetőleg ne haladja meg a +50°C-ot.

## **-Vizuális, endoszkópos vizsgálat**

**Fizikai elv:** A vizsgálati felületet közvetlen vagy közvetett szemrevételezéssel vizsgáljuk.

**A vizsgálat leírása:** A megfelelő felületi előkészítést követően közvetlenül (pl.: szabad szemmel vagy 3-5 szörös lupe alkalmazásával) végezzük a vizsgálatot. Olyan vizsgálati helyek esetén, ahol a közvetlen megfigyelés nem alkalmazható (pl. részben zárt, nem hozzáférhető terek) alkalmas segédeszközt pl. endoszkópot alkalmazunk és ezen keresztül végezzük el a vizsgálatot.



**Mire jó:** Geometriai eltérések, felületre nyitott folytonossági hiányok kimutatása és dokumentálása. A vizsgálat dokumentálhatósága nagyon jó, mivel a közvetlen szemrevételezésről és az endoszkópos vizsgálatról is fotó illetve videó készíthető.

**Változatai:** Közvetlen szemrevételezés szabad szemmel illetve nagyító használatával. Üregek vizsgálat, nehezen hozzáférhető helyek vizsgálata tükörrel vagy endoszkóppal (közvetett vizsgálat).

**Jól kimutatható vele:** A vizsgálat érzékeny a viszonylag nagyobb méretű térfogatos hibák és az elnyílt repedés jellegű hibák, valamint a durvább geometriai eltérések kimutatására.

**Rosszul detektálható:** A vizsgálat kevésbé érzékeny a kisméretű összezáródott repedések kimutatására és a csekély mértékű geometriai eltérések detektálására.

**A vizsgálat korlátjai:** A hibakimutathatóság korlátja az emberi szem, illetve az alkalmazott segédeszköz felbontó képessége. A vizsgálat során csak a felületre nyitott hibák mutathatók ki. A vizsgálatához biztosítani kell a megfelelő felületet, hozzáférhetőséget és megvilágítást. A vizsgálati távolság növekedése jelentősen rontja a hibakimutathatóságot.

Endoszkópos vizsgálat esetén az endoszkóp bevezetéséhez megfelelő nagyságú helyet kell biztosítani. Ha az endoszkópot több kanyarlaton keresztül kell vezetni (pl egy csővezetékben) az jelentősen csökkentheti a behatolási távolságot a nagymértékben megnövekedett súrlódás miatt.

Az endoszkóp általában nagy terek vizsgálatára a fényerő és a flexibilis szál megvezetési nehézségei miatt csak korlátozottan alkalmas.

**Szükséges vizsgálati felület:** A vizsgálatához fémtiszta, lerakódásoktól mentes vizsgálati felület szükséges.

**Környezeti feltételek:** Közvetlen szemrevételezéshez száraz vizsgálati környezet szükséges. A hőmérséklet ne zavarja a vizsgálatot a részletes megfigyelés elvégzésében. Endoszkópos vizsgálat végezhető víz alatt vagy olajban is. Ezek a közegek azonban jelentősen lerontják a látótávolságot, a hőmérséklet ilyenkor ne haladja meg a +50 °C-ot!



## -Mágnesezhető poros (mágneses) vizsgálat

**Fizikai elv:** A ferromágneses anyagokban külső gerjesztő mágneses tér hatására jelentős indukció növekedés jön létre (domének rendeződése miatt). A megfelelő pozícióban lévő felületi és felülethez közeli hibákat (a hibák eltérő relatív permeabilitása miatt) a mágneses erővonalak kikerülik. Így a felületen szórt mágneses fluxus jön létre, amely úgy működik mint egy kis helyi "mágnes" és magához vonzza a felületre felhordott vizsgálóanyagot. Így láthatóvá válik a hiba.



**A vizsgálat leírása:** A megfelelő felület előkészítést követően megfelelő irányú mágneses erőteret hozunk létre a vizsgálati felületen. Felhordjuk a mágnesezhető port tartalmazó vizsgálóanyagot. Megszüntetjük a gerjesztő teret, majd értékeljük a kialakult indikációkat.

**Változatai:** Színkontrasztos (fekete-fehér), Fluoreszkáló

**Mire jó:** Felületi és felület közeli folytonossági hiányok kimutatása

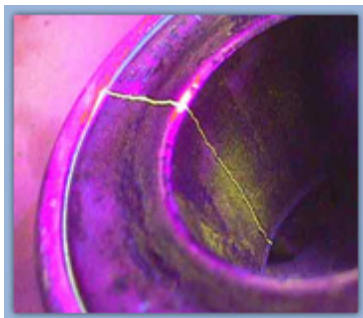
**Jól kimutatható vele:** A vizsgálat különösen érzékeny a repedés jellegű hibák kimutatására

**Rosszul detektálható:** A vizsgálat kevésbé érzékeny a felületre nyitott nagy méretű térfogatos hibákra

**A vizsgálat korlátai:** Csak ferromágneses anyagok vizsgálhatók vele. A vizsgálat irányfüggő. Szűk vizsgálati helyeknél problémás lehet a hozzáférés. Felület alatti, 2mm-nél mélyebben fekvő hibák kimutatása csak speciális körülmények és eszközök alkalmazásával érhető el célzott helyi vizsgálatok során, igen jelentős érzékenység csökkenés mellett (5 - 6mm-nél mélyebben fekvő hiba semmilyen körülmények között nem detektálható)

**Szükséges vizsgálati felület:** A legnagyobb vizsgálati érzékenységhez fémtiszta, zsíros, olajos szennyeződésektől mentes felület szükséges. Átlagos vizsgálati érzékenység esetén egy vékony, jól tapadó festékréteg (nem fémtartalmú) még nem rontja jelentősen a hibakimutatást. A vizsgálati felületről minden esetben el kell távolítani a revét, rozsdát, vastag festékréteget illetve egyéb bevonatokat, a lazán tapadó és a zsíros olajos szennyeződéseket. A vizsgálati felületnek száraznak kell lennie.

**Környezeti feltételek:** Száraz vizsgálati környezet szükséges. Nagy érzékenységű vizsgálatot szuszpenziók alkalmazásával lehet elérni. Ehhez a vizsgálati felületnek 0 - +50C° között kell lennie. Magasabb hőmérsékleten szárazporos vizsgálat végezhető, de ennek sokkal rosszabb a hibakimutatása ezért csak egészen durva várható hibák esetén alkalmazható. A finom felületen a legnagyobb érzékenységet biztosító fluoreszkáló módszer alkalmazásához elsötétített vizsgálati helyszín szükséges.



## -Folyadékbehatolási (penetrációs) vizsgálat

**Fizikai elv:** Megfelelő körülmények között, a jó nedvesítő képességű folyadékok, a kapilláris hatás miatt képesek behatolni szűk résekbe (pl. repedés), majd onnan visszaszivárogni a felületre.



**A vizsgálat leírása:** A megfelelő felület előkészítést követően a behatoló folyadékot felhordjuk a vizsgálati felületre, kivárjuk a behatolási időt (hőmérséklet függő), a felületről eltávolítjuk a felesleges behatolószer, felhordjuk az előhívót, majd az előhívási idő alatt figyeljük, hogy van-e a felületre olyan visszaszívódás ami hibára utal.

**Mire jó:** Felületre nyitott folytonossági hiányok kimutatása. Átmenő hibák kimutatása

**Változatai:** Színkontrasztos (piros-fehér), Fluoreszkáló

**Jól kimutatható vele:** A vizsgálat különösen érzékeny a térfogatos és a repedés jellegű hibák kimutatására

**Rosszul detektálható:** A vizsgálat kevésbé érzékeny a keskeny (összezáródott) repedésekre

**A vizsgálat korlátai:** Csak olyan anyagok vizsgálhatók vele, amellyel a vizsgálóanyagok nem lépnek reakcióba. Felület alatti illetve eltömődött, vagy teljesen összezáródott hibák nem mutathatók ki vele

**Szükséges vizsgálati felület:** Ez a vizsgálat a legérzékenyebb a megfelelő felületi előkészítésre. A vizsgálatához fémtiszta, zsíros, olajos szennyeződésektől mentes vizsgálati felület szükséges. A felületi előkészítések közül nem ajánlottak a különböző szemcseporok, mert ezek tömörítik a felületet és így elzárhatják, illetve eltömíthetik a felületre nyitott hibákat. A vizsgálati felületről el kell távolítani a különböző bevonatokat, a revét, a rozsdát illetve az egyéb jól vagy lazán tapadó szennyeződéseket. A vizsgálati felületnek zsírmentesnek és száraznak kell lennie.

**Környezeti feltételek:** Száraz vizsgálati környezet szükséges.

A vizsgálat nagyon érzékeny a hőmérsékletre. Általános esetben a vizsgált darab hőmérsékletének  $+5^{\circ}\text{C}$  -  $+50^{\circ}\text{C}$  között kell lennie! Ettől eltérő hőmérséklettartományban a vizsgálatához speciális anyagok és speciális körülmények biztosítása szükséges. Különösen nagy veszélye van az  $+5^{\circ}\text{C}$  alatti tartományban végzett vizsgálatnak, mivel ilyenkor a környezet párja belefagyhat a felületre nyitott hibákba és ez teljes mértékben lehetetlenné teszi a hibakimutatást. Emiatt ipari körülmények között  $+5^{\circ}\text{C}$  alatti hőmérsékleten a folyadékbehatolási vizsgálat NEM VÉGEZHETŐ EL! A finom felületen a legnagyobb érzékenységet biztosító fluoreszkáló módszer alkalmazásához elsötétített vizsgálati helyszín szükséges.



## **-Tömörségvizsgálat**

**Fizikai elv:**A legtöbb tömörségvizsgálati eljárás azon alapul, hogy a vizsgálandó felület két oldalán nyomáskülönbséget hozunk létre, majd az esetlegesen átszivárgó közeget vagy töltetet, valamilyen eljárással észleljük. Más eljárások pedig azon alapulnak, hogy a vizsgálandó tér tartja-e a létrehozott túlnyomást vagy vákuumot.

**A vizsgálat leírása:**A fizikai elv különböző megvalósításai alapján igen sokféle tömörség vizsgálati módszer létezik, ezért konkrét vizsgálat leírását itt nem adjuk meg.

**Változatai:**Sokféle módszer létezik. Ilyenek például a

- buborék-emissziós módszerek (vákuummal vagy túlnyomással),
- héliumos tömörségvizsgálat,
- vákuumos tömörségvizsgálat,
- de ide tartoznak a különböző tömörségi nyomáspróbák is.

**A vizsgálat korlátai:**Kizárólag az átmenő folytonossági hiányok mutathatók ki.

**Mire jó:**Különböző mértékű tömörtelenségek kimutatása. Egyes módszerekkel a tömörtelenség mértékének a meghatározása is lehetséges.

**Jól kimutatható vele:**Átmenő folytonossági hiányok. A kimutatható tömörtelenség mértéke nagymértékben függ az alkalmazott módszertől!

**Rosszul delektálható:**Az alkalmazott módszer kimutatási határához közel eső méretű folytonossági hiányok.

**Szükséges vizsgálati felület:**A vizsgálati felületre vonatkozó konkrét követelményt az alkalmazott módszer határozza meg.

Általánosságban elmondható, hogy a leggondosabb felület-előkészítés általában a buborék-emissziós módszerek alkalmazása előtt szükséges.

**Környezeti feltételek:**A szükséges környezeti feltételeket az alkalmazott módszer határozza meg.



## -Helyszíni keménységmérés dinamikus módszerrel

**Fizikai elv:** A laboratóriumunk által alkalmazott hordozható keménységmérő készülék dinamikus elven működik. Az ütőmű meghatározott rúgóerővel a vizsgálandó felületre pattintja a "kalapácsot". A készülék elektromágneses úton méri a kalapács ütközési és visszaverődési sebességét, amely adott anyagtípust figyelembe véve kapcsolatba hozható a keménységgel. A mért keménység értéket a készülék LCD kijelzőjéről lehet leolvasni. Szoftveresen megoldott, hogy a keménység értéket HS, HB, HV, HRC vagy HRB értékben is megjeleníthetjük.



**A vizsgálat leírása:** A vizsgálatot a mérési helyek előkészítésével kezdjük. A mérés megkezdése előtt etalonon beállítjuk a készüléket. A méréshez az ütőművet stabilan a mérési pontra illesztjük, majd elvégezzük a mérést. Egy adott mérési ponton általában 3 ütés eredményét átlagoljuk.

Hegesztési varratok keménységmérése esetén általában mérési síkonként 3-5 ponton mérünk (Alapanyag1 - Hőhatásövezet1 - Ömledék - Hőhatásövezet2 - Alapanyag2). A varrat méretétől és a vizsgálati feladattól függően varratonként általában 1 - 3 síkban érdemes elvégezni a mérést.

**A vizsgálat korlátai:** A dinamikus mérési elvből következően a kis tömegű és/vagy kis falvastagságú ( $s < 5\text{ mm}$ ) mintákon való mérés az ütés közben fellépő rezgések miatt hibás eredményre vezethet. Ezért, ha a vizsgálandó tárgy súlya 5 kg alatti, akkor gondoskodni kell a mérés helyén a megfelelő tömegű stabil alátámasztásról. Hasonlóan kell eljárni kis falvastagságú vizsgálati tárgyak mérésénél is. Egészen kis méretű, sík felületű mintákat csatolóanyag segítségével megfelelő tömegű alaplemezre kell "letapasztani" úgy, hogy ne maradjon köztük légréteg.

A mérendő felület görbületi sugara a mérés helyén legalább 30 mm legyen.

Tompa varratok keménységmérése esetén a hőhatásövezet vizsgálata általában csak a korona és az alapanyag helyi síkbamunkálása után végezhető el.

Kis méretű sarokvarratok esetén a hőhatásövezet nem mindig vizsgálható a hozzáférési problémák miatt.

**Mire jó:** Különböző fémek helyszíni keménységmérésére, abban az esetben, ha a telepített készülékek alkalmazására nincs lehetőség (pl. túl nagy a minta mérete, beépített szerkezetek, hegesztési varratok hőkezelés utáni vizsgálata, stb.)

**Szükséges vizsgálati felület:** A méréshez a mérési pontot kb.  $\varnothing 10\text{ mm}$ -es területen fém tisztára kell tisztítani, úgy hogy a felület érdessége  $Ra < 10\text{ mm}$  legyen. Ennél nagyobb felületi érdesség hibás mérési eredményre vezethet. A vizsgálati felületnek mindig szennyeződés- (olaj, zsír, piszok stb.) és rozsdamentesnek, valamint száraznak kell lennie. A vizsgálati felület görbülete, a mérés helyén nem lehet kisebb 30 mm-nél. Ennél kisebb sugarú görbült felületek mérése esetén a mérés helyén legalább  $\varnothing 10\text{ mm}$ -es sík felületet kell kialakítani.

**Környezeti feltételek:** A vizsgálatot zavaró körülményektől mentes (por, nedvesség), környezetben  $-15\text{ °C} - +50\text{ °C}$  közötti hőmérséklet-határok között lehet elvégezni.

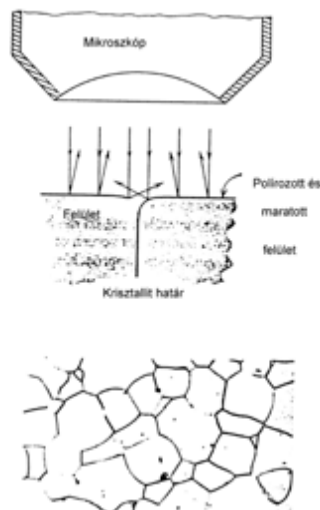
**-Állapotellenőrzés** Egy dolog a szerkezetet megvizsgálni, és más dolog arról a szerkezetről eldönteni, hogy alkalmas-e a feladata ellátására és várhatóan meddig lesz még alkalmas rá. Az állapotellenőrzés során felmérjük, hogy milyen lehetséges károsodási módok léphetnek fel, ezeket milyen gyakran, a szerkezet mely részein és milyen anyagvizsgálati módszerekkel lehet nyomon követni. A megtervezett, periodikusan végrehajtott anyagvizsgálatok eredményeinek összevetéséből lehet megállapítani a szerkezet alkalmasságát (állapotát), a várható felújítások idejét, mértékét és a szerkezet várható élettartamát. Az állapotellenőrzés és maradék élettartambecslés hosszú távú, megtervezett folyamat eredménye.

## **-Mikroszkópos vizsgálat**

A legtöbb esetben a szövetszerkezet vizsgálata csak mikroszkópos vizsgálattal lehetséges. A szövetszerkezet láthatóvá tételére a csiszolt és polírozott felületet maratni kell. A marószerek általában savak vagy bizonyos esetekben lúgok vizes vagy alkoholos oldatai. A marószerek általában a magasabb energiaszinten lévő, reakcióképesebb helyeket támadják meg, pl. a krisztallithatókat. A marószereket kézikönyvek tartalmazzák. A maratással láthatóvá tett szövetszerkezetet mikroszkóppal vizsgálhatjuk.

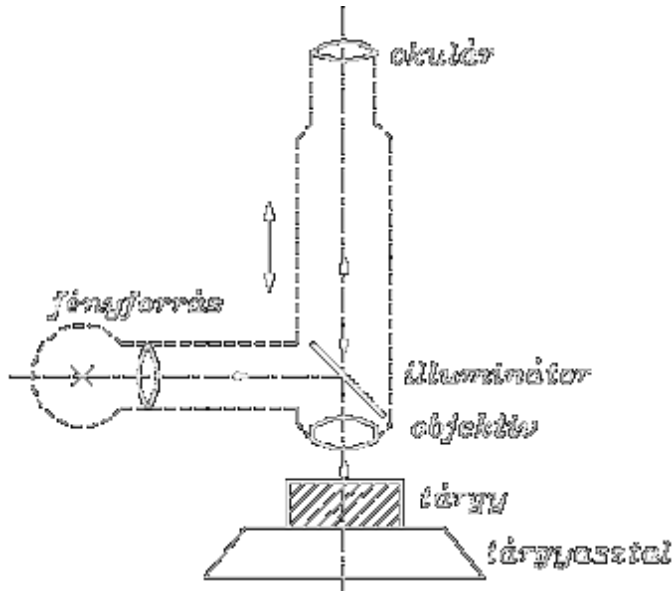
### **A fémvizsgáló mikroszkóp vagy fém-mikroszkóp**

A fém-mikroszkópok a képalkotáshoz a visszavert fényt használják fel. A mikroszkópon látható szövetkép keletkezésének elvét (diszlokált reflexió) mutatja.



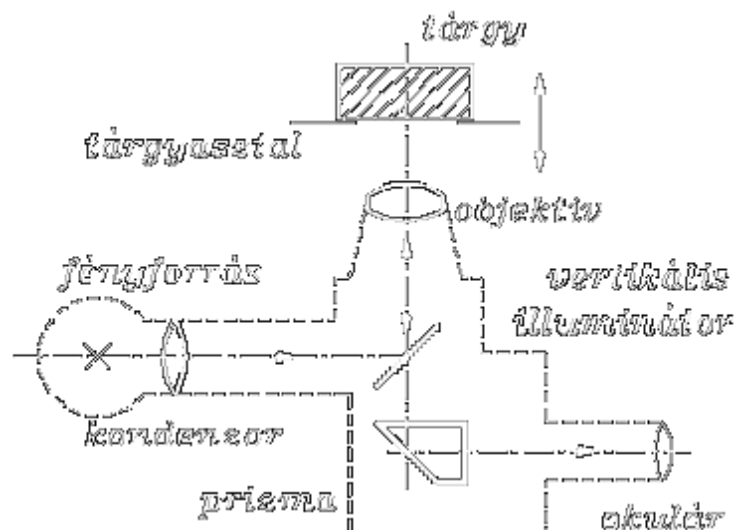
A fém-mikroszkópok felépítése a biológiai mikroszkópokhoz hasonló.  
Elrendezés szerint a mikroszkópok lehetnek:

- normális vagy egyenes



- fordított vagy Le Chatelier
- A normális mikroszkópnál a tárgyasztal az objektív (tárgylencse) alatt van, és külön kell gondoskodnunk arról, hogy a csiszolat felülete merőleges legyen a mikroszkóp optikai tengelyére.

A fordított mikroszkóp esetében a tárgy az objektív felett helyezkedik el, és a csiszolatot a csiszolt felületével lefelé helyezzük a tárgyasztalra és az eleve merőleges az optikai tengelyre.



**Mikroszkópos mérések**

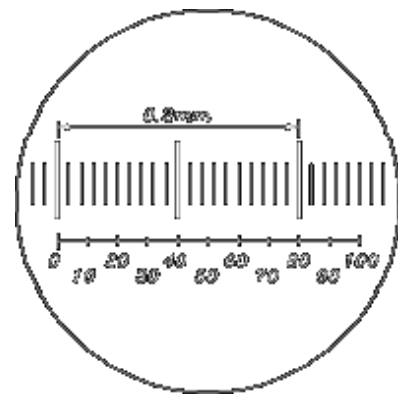
A mikroszkópos méréshez mérőeszközzé a **mérőokulár**ra van szükség. A mérőokulárba általában 100 osztással ellátott skálát építenek be. A mérőokulárral való méréshez szükségünk van az okulár mikrométer értékének ismeretére. Ennek megállapítására a **tárgymikrométer**et használjuk. A tárgymikrométeren 1 mm 100 egyenlő részre van osztva. A tárgymikrométert a tárgy helyére tesszük, és a képet úgy állítjuk be, hogy a mérőokulár és a mikrométer skáláját egymás mellett lássuk. Ezután meghatározhatjuk az okulár mikrométer értékét, azaz azt, hogy egy osztás a tárgyon hány mm-nek felel meg.

Esetünkben

$$T = \frac{0,2}{80},$$

azaz 0,2 mm = 80 osztás

*Az okulár mikrométer értékének meghatározása*



## Acélok mikroszkópos vizsgálata

A mikroszkópokkal mennyiségi és minőségi vizsgálatokat végezhetünk.

A **mennyiségi vizsgálatok** során valamilyen mérőszám, előírás, megállapodás, szabvány szerinti fokozat, vagy jelzés megadásával minősítjük a vizsgált próbatestet. pl. a szövetelemek arányának megállapítása, szemcsenagyság, zárványosság stb.

**Minőségi vizsgálatok** célja a jelenlévő szövetelemek, fázisok minőségének, elrendeződésének vizsgálata, az elvégzett hőkezelések eredményének ellenőrzése, az anyagon végrehajtott képlékeny alakítás hatásának tanulmányozása stb.

Az acélok mennyiségi mikroszkópos vizsgálatai közül a legfontosabbak a következők:

- szemcsenagyság mérés
- nem fémes zárványok mikroszkópos meghatározása
- a dekarbonizálódott rétegvastagság mérése

## A szemcsenagyság mérése MSZ 2657

Az acélok átlagos szemcsenagyságának ismerete nagyon fontos, mert a szemcsenagyság az anyag tulajdonságait, feldolgozhatóságát jelentősen befolyásolja.

A szemcsenagyság jellemezhető:

- az összehasonlító képsorozat szerinti fokozatszámmal
- az  $1 \text{ mm}^2$  területre eső szemcsék számával
- az átlagos szemcseátmérővel
- a szemcse metszetének átlagos területével
- az  $1 \text{ mm}^3$ -ben lévő szemcsék számával

A szemcsenagyság mikroszkópos meghatározása háromféle módszerrel lehetséges:

- Összehasonlító képsorozat (etalon kép) alapján
- Szemcseszámlálással
- Szemcse metszések számlálása alapján

A minősíteni kívánt darabból kivett próbát csiszolással, polírozással és a szemcsehatárokat láthatóvá tévő maratással készítjük elő a vizsgálathoz.

#### ***A szemcsenagyság meghatározása összehasonlító képsorozat alapján***

Ez a módszer csak közel egyenlő tengelyű (poligonális) szemcsék esetében alkalmazható. Az összehasonlítást általában  $100\times$  nagyításban kell végezni a csiszolat több jellemző helyén. A vonatkozó szabvány A, B, C és D jelű 1 - 10 fokozatú. összehasonlító képsorozatot tartalmaz. Az összehasonlító képsorozatok úgy vannak összeállítva, hogy  $100\times$  nagyításkor az  $1 \text{ mm}^2$ -re eső szemcseszám és a szemcsenagyság között a következő összefüggés van:

$$m = 8 \times 2^G, \text{ ahol:}$$

$m$  az  $1 \text{ mm}^2$ -re eső szemcseszám

$G$  a szemcsenagyság fokozatszáma

A módszer gyors, pontossága megfelel az ellenőrző és az átvételi vizsgálatoknak.

#### ***A szemcsenagyság meghatározása a szemcseszámlálás alapján***

A legpontosabb vizsgálat. A csiszolat képét a mikroszkóp matt üvegére vetítjük vagy lefényképezzük. A nagyítás ( $g$ ) olyan kell legyen, hogy egy  $5000 \text{ mm}^2$ -es látómezőben legalább 50 szemcse legyen megfigyelhető. Ez a terület  $100\times$  nagyításban  $0,5 \text{ mm}^2$  csiszolat területnek felel meg. A behatárolt területen lévő ( $n_1$ ) és a határvonal által elmetezett ( $n_2$ ) szemcsékszámának ismeretében az  $5000 \text{ mm}^2$ -en  $100\times$  nagyításban az összes szemcsék száma:

$$N = n_1 + \frac{n_2}{2}$$

az  $1 \text{ mm}^2$ -re eső szemcsék száma:

$$m = 2n$$

### ***A szemcsenagyság meghatározása a szemcsemetszések számlálása alapján***

A csiszolat képét a mikroszkóp matt üvegére kell vetíteni vagy le kell fényképezni., és meg kell számolni a mérővonallal metszett szemcséket. A mérővonal lehet egyenes vagy kör. A mérővonalakkal egy területet csak egyszer szabad mérni. A számolást a csiszolat legalább öt helyén el kell végezni. A módszer alkalmas hidegen alakított, tehát nyújtott szemcsék nagyságának meghatározására is.

### **Az acélok nemfémes zárványainak metallográfiai meghatározása**

A zárványok szabvány szerint (MSZ 2668) kivett (általában hosszirányú), maratlan csiszolaton 100x nagyításban etalonsorozattal való vizuális összehasonlítással határozhatók meg.

Az acélokban és a vasalapú ötvözetekben előforduló zárványok kémiai jellegük és morfológiájuk alapján kilenc típusba vannak sorolva. Minden típushoz 1-5 fokozat tartozik, a zárványtartalom növekvő sorrendjében.

A zárványok négy fő csoportja:

- **oxidok**
  - soros oxidok, jele: SrO: apró korund, spinell, alumínát stb. szemcsékből álló sorok
  - pontszerű oxidok, jele: O: egyszerű és összetett oxidok
- **szilikátok**
  - töredezett szilikátok, jele: TSi: szilikátokból és összetett oxidokból álló széttöredezett és nyújtott egybefüggő sorok
  - képlékeny szilikátok, jele: KSi: az alakítás irányába elnyújtott, fekete szilikátok
  - nem alakítható szilikátok, jele: NSi: gömb vagy szabálytalan alakú szilikát, spinell, alumínát
- **szulfidok** Jele: S
- **nitridek**
  - soros titán nitridek, jele: SrTN: sárgás, rózsaszínű, szabályos alakúak
  - pontszerű titán nitridek, jele: TN
  - alumínium nitridek, jele: AN: sötét vagy világos

A vizsgálat eredményét a zárvány típusjelével és fokozatának feltüntetésével kell megadni. Megengedett a fél fokozat is. Ha a zárványosság az 5. fokozatnál nagyobb, akkor ezt az 5. fokozat elé tett nagyobb (> 5) jellel kell megadni. Ha valamelyik zárványfajta az adott

látómezőben nem található, jele: 0. Abban az esetben, ha egy látómezőben egyidejűleg több zárványtípus fordul elő, azokat külön kell értékelni.

A zárványosságot a termékre vonatkozó előírástól függően a következő módszerek egyikével kell megadni:

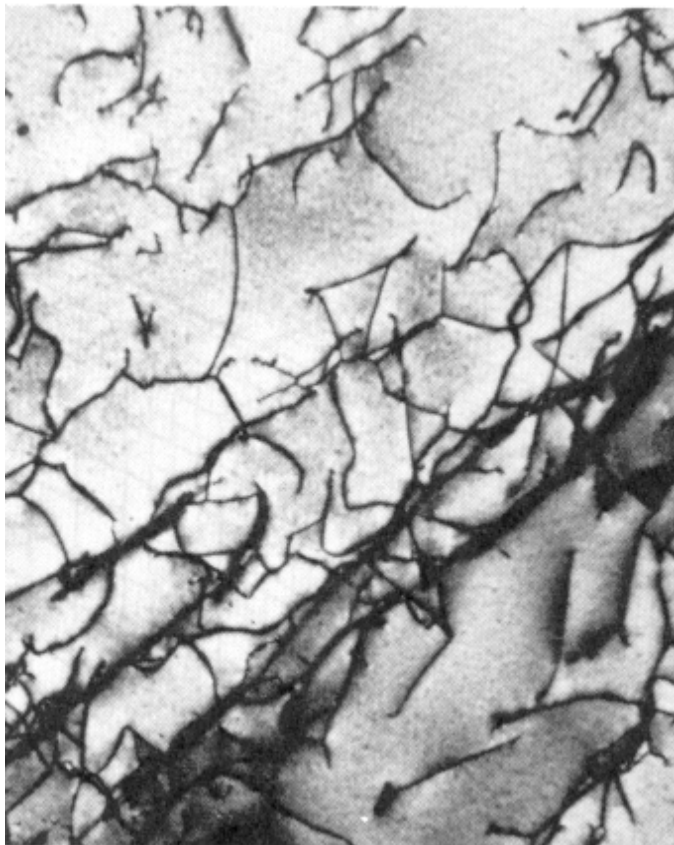
- átlagos fokozatszámmal
- átlagos fokozatszámmal és azon próbatestek számával, amelyek zárványossága a megengedettnél nagyobb

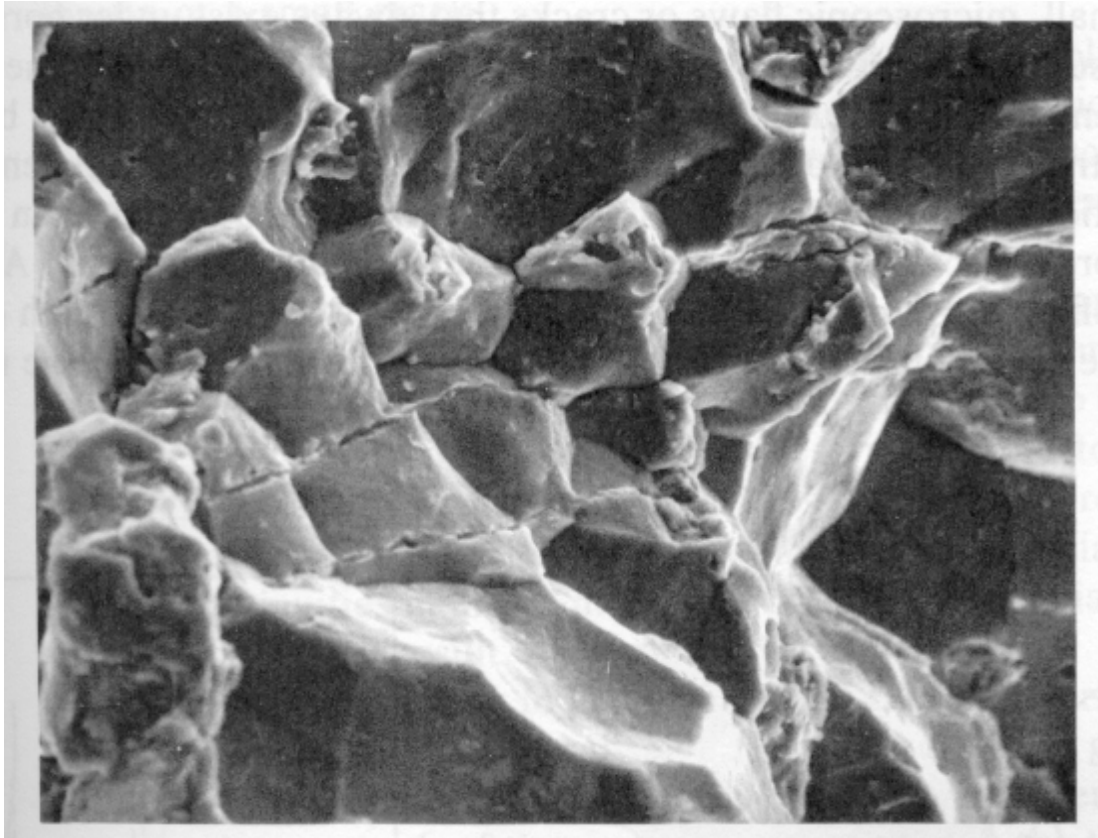
### **A dekarbonizálódott rétegvastagság meghatározása (MSZ 2636)**

A dekarbonizáció az acél felületének elszéntelenedése, amely melegalakítás vagy hőkezelés során keletkezhet. Az acél felületén egy teljesen dekarbonizálódott réteget, majd ez alatt egy részlegesen dekarbonizálódott réteget találhatunk. A mérést a szabvány előírása szerint mikroszkópon 100x nagyításban végezzük. A dekarbonizálódott réteg a teljes és a részleges réteg összege 0,01 mm pontossággal mérve.

### **Elektronmikroszkópos vizsgálatok**

Az elektronmikroszkópok fény helyett elektron sugarat használnak, melyet tekercsekkel fókuszálnak. Az ún. **transzmissziós elektron mikroszkópban** (TEM) a rendkívül vékony (speciális technikával előállított) fémlemez, vagy annak felületéről készített lenyomatot az ún. replikát "világítja át" a fókuszált elektronsugár. A módszer alkalmas a diszlokációk vizsgálatára is.

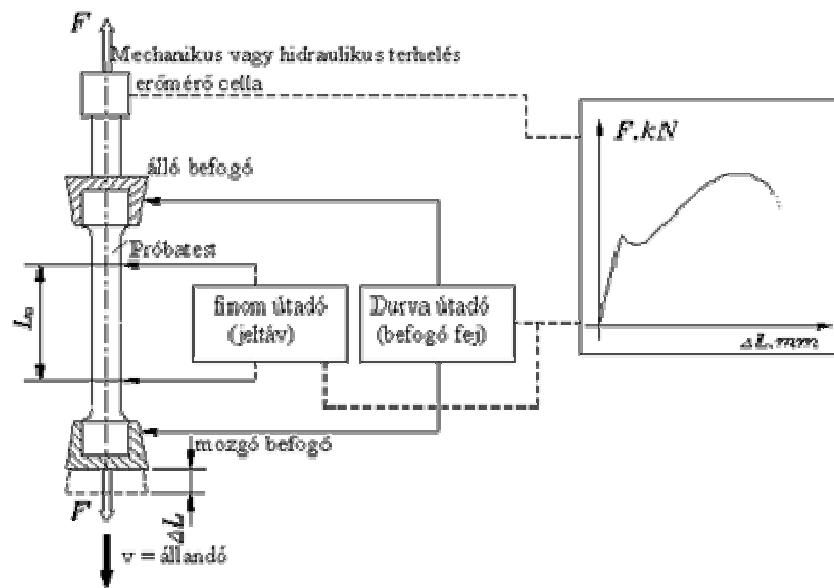




## Az anyagszerkezet roncsolásos vizsgálata:

### -Szakítóvizsgálat

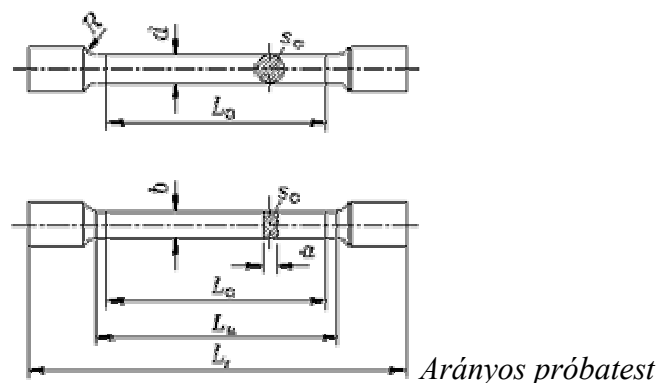
A szakítóvizsgálat (Msz EN 10002-1:1994) célja a fémek egytengelyű húzó igénybevételével szembeni ellenállásának meghatározása. Elve, hogy egy szabványosan kialakított próbatestet egytengelyű igénybevételrel a szabványban előírt sebességgel szakadásig terhelnek, és közben mérik a próbatest által felvett erőt az alakváltozás függvényében.



*A szakító vizsgálat elve*

A szakítóvizsgálathoz alkalmas próbatest előkészítése és a próbavétel szabvány szerint történik.

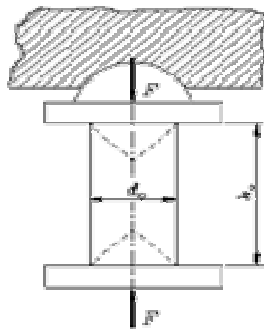
A próbatest alakja és mérete a vizsgált termék alakjától és méretétől függ. Lehet a termékből vett nyers darab, pl. huzalból kivágott darab, öntött vagy megmunkált. Keresztmetszete lehet kör, négyzög, vagy pl. alakos profilok vizsgálata esetén egyéb alakú. A gyakorlatban legtöbb esetben a hengeres vagy hasáb alakú arányos próbatestet használjuk. A derékszögű négyzög keresztmetszet oldalának aránya  $b/a$  ne haladja meg a 8:1-et.



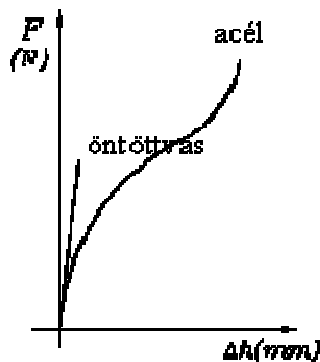
## -Nyomóvizsgálat

A nyomóvizsgálat célja: az anyagok egytengelyű nyomó igénybevétellel szembeni ellenállásának meghatározása.

A legtöbb fém húzó és nyomó igénybevétellel szemben közel azonos módon viselkedik. A rideg anyagok azonban, mint például az öntöttvas, a beton vagy a kerámiák jóval ellenállóbbak nyomó igénybevétellel szemben, ezért ezen a területen alkalmazzák azokat. A nyomóvizsgálatot ezért elsősorban **rideg anyagok** vizsgálatára alkalmazzuk. A vizsgálat elve a 4.15. ábrán látható. A vizsgálatához elsősorban hengeres ( $h_o = n d_o$ ) próbatesteket használunk. Megjegyzés: A próbatest magassága a kihajlás miatt  $3 d_o$ -ban van maximálva. A vizsgálatot az egytetemes szakító gépen edzett nyomólapok között végezzük. Az ábra öntöttvas és acél nyomódiagramját mutatja.



*A nyomóvizsgálat elve*



*Acél és öntöttvas nyomódiagramja*

A **rideg anyag** rugalmas alakváltozás után általában  $45^\circ$ -os síkok mentén (legnagyobb csúsztató feszültség) eltörik. Meghatározható a **nyomószilárdság** vagy **törő szilárdság**. Jele:  $R_v$

$$R_v = \frac{F_v}{S_o} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

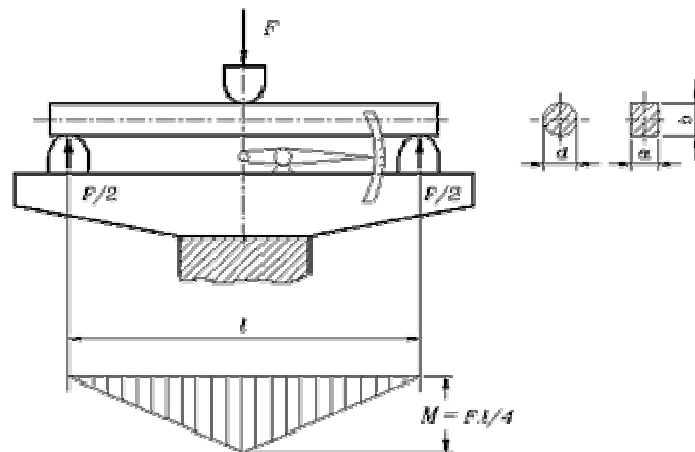
A szívós, és képlékeny anyagok nyomóvizsgálat során “hordósodnak”, bizonyos alakváltozás után felületükön repedések jelennek meg, egyértelmű törést nem mutatnak. Ezért a képlékeny

anyagok esetében a nyomó igénybevételt elsősorban a képlékeny hidegalakításnál használt folyási görbék felvételéhez használják.

## -Hajlítóvizsgálat

A hajlítóvizsgálatot elsősorban **rideg anyagok**, pl. öntöttvas teherbírásának a meghatározására használják, mivel a szívós anyagok a terhelés során jelentős maradó alakváltozást szenvednek, és ez a kiértékelést megghiúsítja. Öntöttvasak esetében a hajlító vizsgálat lehetővé teszi a minimális alakíthatóság meghatározását is.

A vizsgálatnál a hengeres, ritkábban hasáb alakú próbatestet kéttámaszú tartóként terheljük egy központosan ható erővel. A terhelést törésig végezzük, miközben mérjük az erőt és a törésnél bekövetkező behajlást. A behajlásból a rugalmas alakváltozásra lehet következtetni. A hajlító szilárdság a maximális hajlítónyomatékból határozható meg.



*A hajlítóvizsgálat elve*

A **hajlító szilárdság**: Jele:  $R_{mh}$

$$R_{mh} = \frac{M}{K} \text{ [N/mm}^2\text{]},$$

ahol

$M$  a maximális hajlító nyomaték  $M = \frac{F \cdot l}{4}$   
 $K$  a keresztmetszeti tényező, ami:

kör keresztmetszet esetén:  $K = \frac{d^3 \cdot \pi}{32}$

négyszög keresztmetszetre:  $K = \frac{a \cdot b^3}{6}$

Megjegyzés: Az összefüggések csak a rugalmas alakváltozási tartományban igazak!

### -Csavaróvizsgálat

A csavaróvizsgálatot az egyik végén befogott, kör keresztmetszetű próbatest elcsavarásával végezzük és mérjük a töréshez tartozó csavaró nyomatékot, valamint a hozzá tartozó elcsavarodási szöget. A csavaró igénybevétel lehet a rugalmas alakváltozás tartományán belüli vagy folytatható törésig. Csavaró szilárságot csak a **rideg anyagoknál** tudunk megállapítani, mert a szívós anyagok nem törnek el, hanem néha többször 360° -ban is elcsavarhatók.

A **csavaró szilárság**: Jele:  $R_{mt}$

$$R_{mt} = \frac{T_m}{K_p} \text{ [N/mm}^2\text{]}, \text{ ahol}$$

$T_m$  a töréshez tartozó csavaró nyomaték

$K_p$  a poláris keresztmetszeti tényező: 
$$K_p = \frac{d^3 \cdot \pi}{16}$$

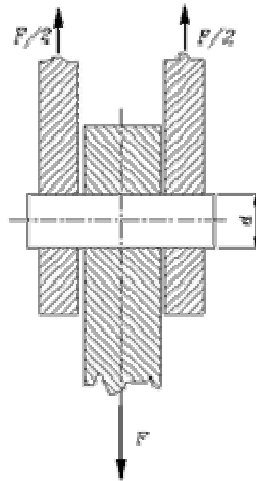
Csavaró igénybevételt általában a nyomaték-átviteli berendezések, hajtóművek tengelyei, tartószerkezetek, vagy torziós rugók kapnak. A vizsgálatról az MSz 105/6 foglalkozik, de meg kell jegyezni, hogy nagyon ritkán végzik.

## -Nyíróvizsgálat

A nyíróvizsgálat néhány gépelemnek, pl. ékek, szegecses, reteszek stb. igénybevételét utánozza, ezért ezek anyagának minősítésére szolgál.

A tiszta nyírást (a két erő azonos hatásvonalon ébred) a gyakorlatban nem tudjuk megvalósítani, ezért a kisebb hibát okozó kettős nyírást alkalmazzuk.

A vizsgálathoz hengeres próbatesteket használunk



*A nyíróvizsgálat elve*

A nyírószilárdság: Jele:  $R_{tny}$

$$R_{ny} = \frac{F_m}{2 \cdot S_o} \text{ [N/mm}^2\text{]}, \text{ ahol}$$

$F_m$  a maximális nyíró erő

$S_o$  a nyírt keresztmetszet

Megjegyzés: A feszültség  $\tau$  feszültség.

## -Keménységmérés

Az anyagok egyik legfontosabb tulajdonsága a **keménységük**. A fémek és ötvözetek keménységmérése nagyon elterjedt, és ez a következő okokkal magyarázható:

- a mérés gyors, egyszerű
- a darabon “roncsolásmentesen” elvégezhető
- az eredményekből kísérletileg meghatározott összefüggések alapján egyéb anyagjellemzőkre is következtethetünk
- a technológiai folyamatba beilleszthető



A keménység alatt a fémnek azt az ellenállását értjük, amelyet a fém egy nála keményebb test behatolásával szemben kifejt.

A mérések elve a meghatározásból következően az, hogy egy szabványos anyagú, alakú és méretű kemény testet (benyomó szerszám, lehet golyó, gúla vagy kúp) meghatározott ideig ható terheléssel a mérendő anyag felületébe nyomunk, és vagy a terhelő erő és a lenyomat felületének hányadosával, (HB, HV) vagy a benyomódás mélységéből képzett számmal (HR) jellemezzük a keménységet. A terhelést lassan adjuk rá a benyomó szerszámmra, ezért a módszereket **statikus keménység méréseknek** nevezzük.

## Reológiai vizsgálatok

Az eddig tárgyalt szilárdsági vizsgálatok esetében a próbatestben ébredő feszültséget, és alakváltozást a terhelő erő függvényében vizsgáltuk. Nem vettük figyelembe az idő hatását.

A feszültség és alakváltozás idő függvényében történő vizsgálatával a **reológiai vizsgálatok** foglalkoznak. A vizsgálatok célja méretezésre használható mérőszámokat meghatározni a tartós igénybevétellel terhelt szerkezetek anyagaira.

## **-Dinamikus szilárdsági vizsgálatok**

A szerkezetek, alkatrészek egy része üzemi körülmények között lökésszerű, ütésszerű, dinamikus igénybevétellel van terhelve. A dinamikus igénybevétellel szemben az anyagok sokkal kevésbé ellenállóak, mint a statikussal szemben. Az anyagok dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállásának vizsgálatára szolgálnak a dinamikus szilárdsági vizsgálatok. A dinamikus vizsgálatok sokfélék lehetnek. Közülük a legelterjedtebb a Charpy féle ütővizsgálata, ezért ezt ismertetjük.

### **Charpy féle ütővizsgálat**

Az ütve hajlító vizsgálat (MSZ EN 10045-1) célja az anyag dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállásának meghatározása. A dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállás a szívósság.

A vizsgálatot Charpy vezette be, ezért gyakran Charpy vizsgálatnak nevezzük. A vizsgálatot ingás ütőművel végezzük, amelynek segítségével egyetlen ütéssel eltörünk egy bemetszett próbatestet.