

## BEMUTETJUK A LABORT

## LABORATORY IS INTRODUCED

### A roncsolásmentes vizsgálatok kiterjesztett alkalmazása az élettartam menedzselésben Extended application methods of NDT techniques in residual life management

*Rózsavölgyi Zsolt, Méhész István, Mihálovits István*

**Kulcsszavak:** roncsolásmentes vizsgálat, élettartam menedzselés, állapotértékelés, vizuális vizsgálat, ultrahangos vizsgálat, replika

**Keywords:** non destructive testing, residual life management, condition monitoring, visual examination, ultrasonic test, replica

### Summary

Carrying out diagnostic material test regularly on operating equipments is essential in the monitoring of degradation processes and in life management. The test plan based on the operating experience, relevant requirements and documentation is not always enough to obtain information about the current condition of the tested component. The collaboration of testers working on either non destructive or mechanical or analytical side is often required to develop new methods, testing equipments and combined tests for the complementation of the classic test results. These newly created tests are the extension of the widely used routine examinations and are great help in diagnostic. They also can be applied when the sensitivity of classic NDT techniques has to be exceeded. This article gives a short description about the research and new ideas implemented by the material tester personnel of AGMI Pte Co. Ltd., and also introduce some examples from the real life.

### Bevezetés

Üzemelő szerkezetek esetén a rendszeres, diagnosztikai jellegű anyagvizsgálatok, állapotfelmérések eredményei nélkül elképzelhetetlen a károsodási folyamatok nyomon követése és a maradék élettartam becslése. A megszokott szakmai gyakorlat, üzemviteli tapasztalatok, hatályos jogszabályok és a berendezés dokumentációja alapján összeállított vizsgálati terv végrehajtása azonban nem mindig elégséges feltétel ahhoz, hogy a szerkezet aktuális állapotáról pontos képet kapjunk. Gyakran szükséges, a különböző roncsolásmentes, mechanikai és analitikai vizsgálati területeken dolgozó szakemberek együttműködése, hogy olyan új eszközöket, eljárásokat és egymással kombinált vizsgálatokat fejlesszenek ki és hajtsanak végre, melyek eredményei kiegészítik a klasszikus vizsgálati technológiákkal kinyerhető információkat.

Ezek az új, kombinált vizsgálatok tekinthetők a meglévő eljárások kiterjesztésének, hiszen a diagnosztikai tevékenységet nagyban elősegítik. Alkalmazhatók azokban az esetekben is, ahol a szakos szakmai gyakorlatban bevett roncsolásmentes vizsgálati eljárások alkalmazási határát meghaladó hiba kimutatására igény merül fel. Az előadás rövid áttekintést kíván adni Társaságunk szakember gárdája által hosszabb idő alatt összegyűjtött vizsgálati tapasztalatokról és néhány új módszer alkalmazásáról.

### A roncsolásmentes vizsgálatok eredményeinek sajátosságai

A roncsolásmentes vizsgálatok esetében gyakori probléma, hogy a megrendelő kevés információt kap, ha a hibajeleket a vizsgáló szakma terminológiája szerint definiáljuk. Vagyis zavaró, hogy a vizsgálati eredmény közlésekor a vizsgáló nem konkrét hibatípust emleget, hanem indikációról beszél. Ha ráadásul a hiba mértékét feketedésben méri, vagy különböző reflektorokhoz hasonlítja, esetleg oszcilloszkópon megjelenő színes görbék, foltok nagyságából, alakjából következtet az elváltozások különböző tulajdonságaira, akkor már érthető, ha az üzemeltetők használhatatlannak vélik a szakmai gyakorlatban amúgy pontosan megadott vizsgálati eredményeket. A gyártmányvizsgálatban már léteznek olyan szabványok, melyek igényeknek megoldani ezt a problémát (MSZ EN 12062 a hegesztett termékek esetében), de az üzemelő berendezések vizsgálata esetén alig akad kritériumrendszer, mely irányadó lenne a vizsgáló és az üzemeltető számára. Olyan ez, mintha a roncsolásmentes szakemberek nem ugyanazon a nyelven beszélnének, mint a tervezők, gyártók, üzemeltetők.

Ugyanakkor, ha arra gondolunk, hogy a berendezések további üzemeltethetősége nagymértékben függ a roncsolásmentes vizsgálatok által feltárt állapottól, beláthatjuk, hogy indokolt az igény, hogy a kevésbé közérthető nyelven megfogalmazott

AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző ZRt.

anyagfolytonossági hiányokat a műszaki gyakorlatban használhatóbb, metrikus egységekben adjuk meg. Sokszor maga a látvány – vagyis az elváltozás képi megjelenítése – többet mond minden mértékegységnél.

Mondhatjuk tehát, hogy a vizsgálatok eredményei akkor értékesebbek, ha más vizsgálati eredményekkel is alátámasztjuk őket, illetve ha közelebbi módon jelenítjük meg őket.

Néhány példa segítségével bemutatjuk, milyen módszerekkel igazolhatjuk vizsgálati eredményeinket, illetve azt, hogy milyen törekvések vannak arra, hogy ezeket az eredményeket műszaki ember számára „érthetőbb” nyelven lehessen megadni.

1. Néhány szó a szemrevételezéses vizsgálatról
2. A videoendoszkópos vizsgálat lehetőségei a vizsgálatok kiterjesztésében
3. Az ultrahangos vizsgálatban rejtőző lehetőségek
4. A felületi vizsgálatok eredményeinek elemzése lenyomatos technikával
5. A hibavizsgálatok szerepe a további üzemeltethetőségben

## 1. Néhány szó a szemrevételezéses vizsgálatról

„Saját szememmel szeretném látni!” „Hiszem, ha látom!”

Természetes dolog, hogy az ember a látottakat hamarabb elhiszi, mintha arról csak mesélnek neki, vagy csak olvassa valahol. Ezért nem kell csodálkoznunk a szemrevételezéses vizsgálatok népszerűségén. Ennek ellenére méltatlanul lekezelt, sokszor majdnem lebecsült vizsgálati eljárás. Népszerűségét elsősorban sokoldalúságának és közérthető, minden szakember számára jól értelmezhető vizsgálati eredményeinek köszönheti, másrészt annak, hogy közvetlen látvány alapján értékelhetők az elváltozások. Sajnos ez az oka annak is, hogy sokan az ilyen vizsgálatok elvégzéséhez nem igényelnek szakembert. Emiatt sok esetben érezni az eljárás nem kellő megbecsülését. Kivételt talán a különleges mérő- és képrögzítő eszközökkel történő vizsgálatok képeznek, de sokan nem veszik figyelembe azt, hogy az ún. egyszerűbb vizuális vizsgálatok elvégzéséhez is legalább akkora szakértelemre van szükség, mint bármelyik másik roncsolásmentes vizsgálat alkalmazásához.

- Ismerni kell az optikai törvényszerűségeket.
- Ki kell használni, fel kell ismerni a megvilágítási lehetőségeket.
- Korszerű, nagy vizsgálati komfortot nyújtó berendezéseket kell kezelni.
- Sokszor a látott kép értelmezéséhez is nagy gyakorlat szükséges.

A népszerűség egyik okaként említettem, hogy közvetlen látvány alapján vizsgálható a munkadarab. Tényleg közvetlen vizsgálatról van szó?

Az MSZ EN 13018 szabvány felosztása szerint:

- Közvetett a vizsgálat, ha a kapcsolatot elektronikai vagy más képrögzítő eszköz teremti meg.
- Közvetlen a vizsgálat, ha a vizsgáló szeme és a vizsgálati tárgy között csupán optikai kapcsolat van.

Eszerint tehát nem mondhatjuk, hogy a vizuális vizsgálat minden esetben közvetlen [1]. Sőt, a legtöbb esetben a hibáról alkotott kép – mely optikai, kémiai, vagy elektronikai átalakításon esett át – látvány helyett már szintén csupán egyfajta jelnek, vagyis indikációnak nevezhető. Ezen indikáció kiértékeléséhez, pedig hozzáértő szakember szükséges. Jelen esetben – és így van ez más eljárások esetében is – leginkább célravezető, ha a vizsgálati követelmények meghatározását, esetleg a későbbi értékelést is az eljárás törvényszerűségeit ismerő vizsgáló, és a berendezést ismerő üzemeltető együtt végzik.

## 2. A videoendoszkópos vizsgálat lehetőségei a vizsgálatok kiterjesztésében

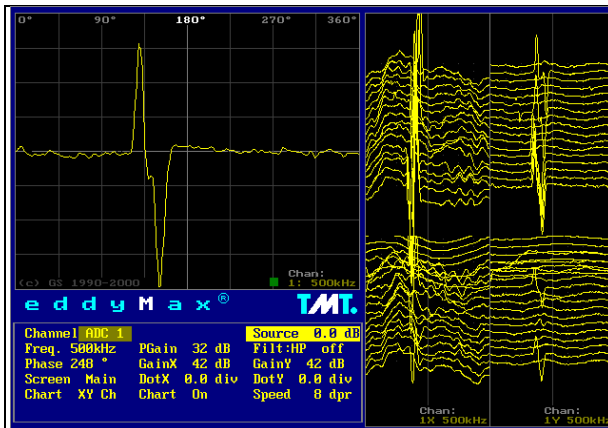
Az endoszkópok széles körű alkalmazását néhány tényező akadályozhatja:

- önmagában esetenként lassú, nehézkes, nem biztos, hogy elegendő
- az optika irányíthatósága korlátozott
- nagy terület részletes átvizsgálása hosszú időt vehet igénybe

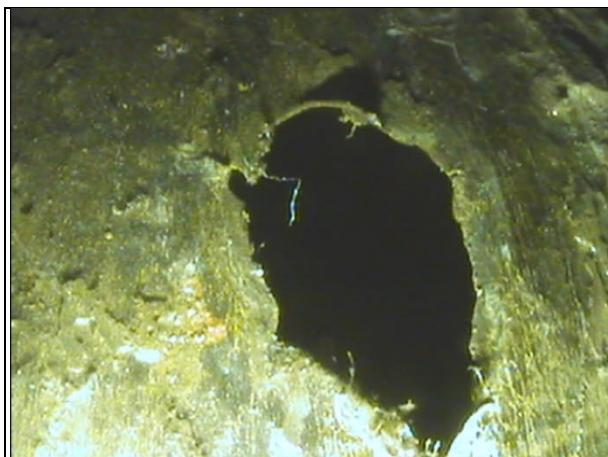
Hogyan léphetjük át ezeket a korlátokat? Egy-egy más kiegészítő eljárásokkal, és a vizsgálhatóság kiterjesztésével.

Videoendoszkóppal lehetőségünk van arra, hogy az aránylag gyors örvényáramos vizsgálat által felfedezett anyaghibát endoszkóppal is „láthatóvá tegyük”, megismerjük pontos geometriáját és megmérjük méreteit. Így nem kell például egy hőcserélő összes csövét endoszkóppal átnézni, elegendő a gyanús helyek célzott vizsgálata. Az 1. és 2. ábra egy örvényárammal feltárt lyukadást és valós megjelenését szemlélteti.

Egy hőcserélőben endoszkópos vizsgálatokkal deríthetők fel a hőátadást károsan befolyásoló lerakódások, és a nagyobb igénybevételnek kitett szektorok. Ez lehetővé teszi, hogy a későbbiekben rendszeresen elvégzendő örvényáramos vizsgálatokat megtervezzük, és kijelöljük a kritikus területeket (3. ábra).



**1. ábra** – Csőlyukadás örvényáramos indikációja  
**Fig. 1.** – Eddy current indication of a tube defect

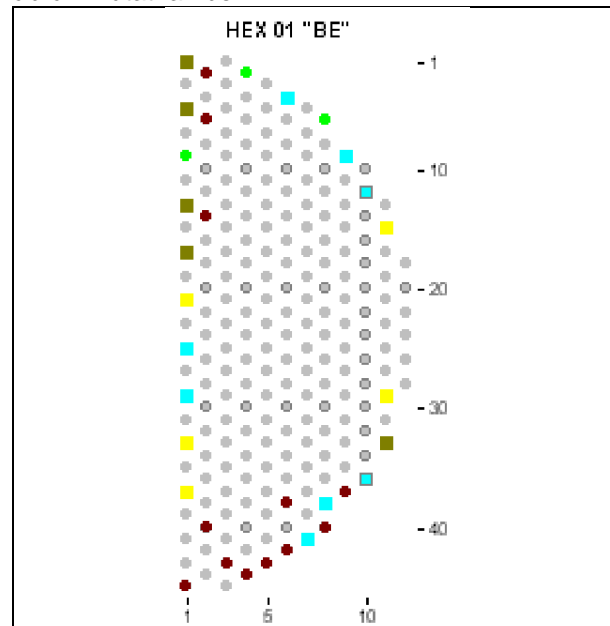


**2. ábra** – Csőlyukadás endoszkópos képe  
**Fig. 2.** – Endoscope image of the defect

Ha az optikai szál hajlékonysága megnehezíti a vizsgálat elvégzését, a vizsgáló szakember leleményességén is múlhat a siker.

Ammóniás folyadékgyűjtő tartályok nem rendelkeznek nagyméretű búvónyílásokkal. Hajlékony optikai szállal a tartály belsejében elvégzendő endoszkópos varratellenőrzés nehézségekbe ütközött, mert a bevezetés helyétől viszonylag távol elhelyezkedő területet kellett vizsgálni. Olyan eszközt kellett szerkesztenünk, mellyel az Ø25 mm-es csőcsonkokon is bejuttathattuk az optikát a tartályok belsejébe, és azt a megkívánt pozícióban tartva remegésmentes, további vizsgálatra alkalmas képet készíthettünk. A vezetősővel bejuttatott optikát a tartályfal felé lehetett fordítani és annak közelében körbe lehetett vezetni. A csőre rajzolt jelek segítettek a pozicionálást, így a belső felületen

észlelt indikációk pontos pozíciói meghatározhatók voltak [1]. A készüléket és néhány felvételt a 4–6. ábrák mutatnak be.



**3. ábra** – A lerakódások, sérülések a sötét ponttal jelölt csőekben találhatóak  
**Fig. 3.** – Deposits and defects can be found in positions marked by dark spots



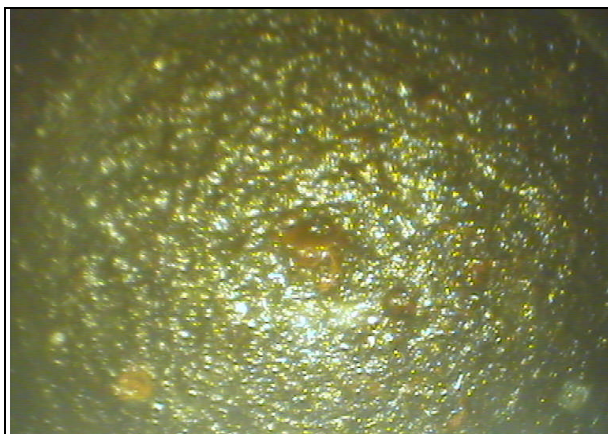
**4. ábra** – Pozicionálható vezetőső endoszkóphoz  
**Fig. 4.** – Equipment capable of positioning the optic fiber of the endoscope

### 3. Az ultrahangos vizsgálatban rejtőző lehetőségek.

Az ultrahangos eljárás során – amellett, hogy természetesen ez a vizsgálat is közvetett – a belső anyaghibák jellemzőire csak következtetni lehet.



Mint minden mérés, ez is egyfajta összehasonlítás, csak abban tér el a szokványostól, hogy nem metrikus mértékegységgel való összehasonlítást végez a vizsgáló, hanem szabványban definiált méretű, alakú és akusztikus tulajdonságokkal rendelkező mesterséges hibához – összehasonlító reflektorhoz – viszonyítja az észleleteket. A természetes hibák viszont általában legkevésbé sem szabványosak.

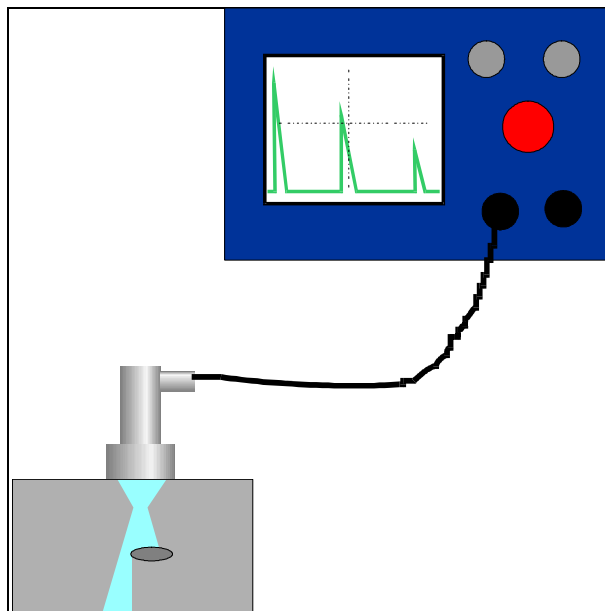


**5. ábra** – A tartály belső felületi állapota  
**Fig. 5.** – The surface condition inside the vessel



**6. ábra** – A tartály körvarrata  
**Fig. 6.** – The circular weld of the vessel

Az általánosan használt hibakereső vizsgáló készülékek kijelzőjén ráadásul nem a hiba valóságos képét látjuk, hanem csak egy, a hiba néhány jellemző tulajdonságára utaló grafikont. Leginkább az ún. A-képes kijelzés terjedt el, melyen a vizsgáló a hiba helyéről és körülbelüli nagyságáról kap információt. A jel formájából a hiba jellegére is lehet következtetni, de ehhez nagy vizsgálati tapasztalat kell (7. ábra). [2]



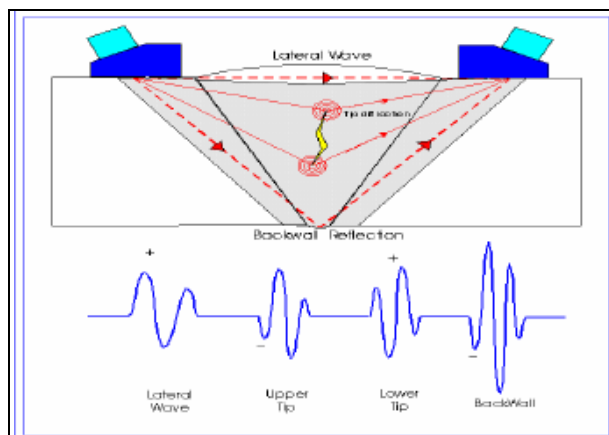
**7. ábra** – Hagyományos ultrahangos vizsgálati elrendezés és egy belső hiba A-képe.  
**Fig. 7.** – Classic arrangement of the ultrasonic test and the A-scan of an inner defect

Attól függően, hogy a várható anyagfolytonossági hiány elhelyezkedése, nagysága, vagy egyéb jellemzője fontosabb-e, más és más tulajdonságot megjelenítő kijelzési módok léteznek. Ez segíti ugyan a vizsgálót az értékelésben, de még mindig nem elég képszerű, és nem teszi lehetővé a hibák minden méretének metrikus meghatározását.

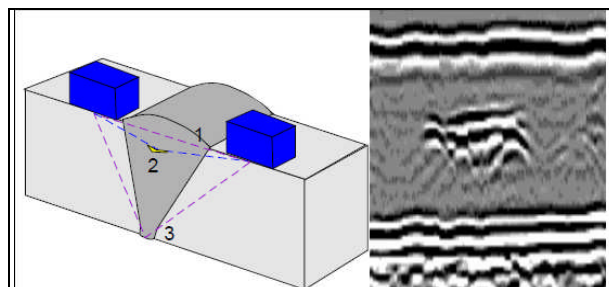
A méretek meghatározásának pontosságát növeli meg egy, a 70-es évek végén kifejlesztett új ultrahangos technika, a TOFD (Time-Of-Flight Diffraction). Azon alapszik, hogy amikor az ultrahanghullámok elérik az anyaghibát, annak szélein, csúcsain elhajlanak, majd koncentrikusan tovább terjednek. Ha ezeket a diffrakciós hanghullámokat egy vevő kristály segítségével érzékeljük, és speciális kijelzőn megjelenítjük, jellegzetes TOFD indikációt kapunk (8. és 9. ábrák). [3]

Nagy áttörést jelentenek az újabban a műszaki gyakorlatban is alkalmazható fázisvezérelt vizsgálófejek. A munkadarabba juttatott hangnyaláb besugárzási szögének folyamatos változtatásával az esetleges anyaghibákat kvázi körbetapogathatjuk, több irányból szemlélhetjük, és a számítógép segítségével szinte háromdimenziós képet alkothatunk róluk. A speciális vizsgálófej kialakításokon kívül a számítástechnikai háttér fejlődése is segített. Könnyen beállíthatók és tárolhatók a vizsgálati paraméterek, a sokreztű kristályok időben eltolt, összehangolt vezérlésével a vizsgálatihoz igazítha-

tó a hangtér formája, lehetővé vált a megjelenítési módok egyidejű használata, és így az anyagfolytonossági hiányok komplexebb elemzése (10. ábra).



**8. ábra** – Egy TOFD vizsgálat elrendezése  
**Fig. 8.** – Arrangement of a TOFD test



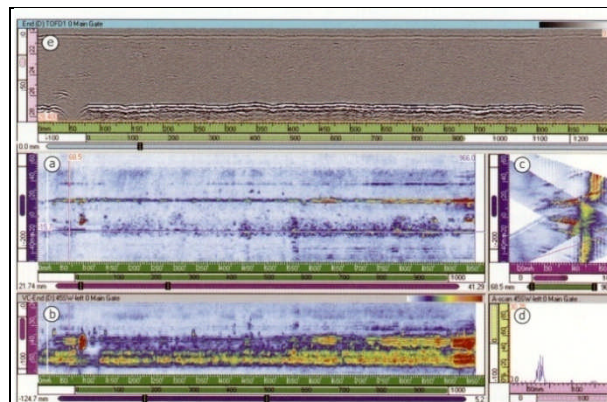
**9. ábra** – Varratsorok közötti összeolvadási hiány jellegzetes TOFD képe  
**Fig. 9.** – Typical TOFD image of a material discontinuity between the welded rows

Bizonyos törvényszerűségeket figyelembe véve az anyaghibák méreteit mm-ben adhatjuk meg, dokumentálhatjuk, majd archiválhatjuk. Az orvosi gyakorlatban évek óta jól működő eljárás már a műszaki életben is bizonyított, de szélesebb körben való alkalmazását az gátolja, hogy a vizsgálat költségeit egyelőre túlságosan megemeli a speciális eszközök ára.

#### 4. A felületi vizsgálatok eredményeinek elemzése lenyomatos technikával

A felületi hibakereső vizsgálatok – a folyadék-behatolásos, és a mágnesezhető poros eljárás – nagyon látványos, nemcsak a vizsgáló számára értelmezhető indikációval szolgálnak. Figyelembe kell azonban venni, hogy annak ellenére, hogy a megjelenített indikációk méreteit könnyen lemérhetjük, ezek nem azonosak a hibák valódi méretével, hiszen a felületen az elváltozásnak csak két dimenzióját láthatjuk, a harmadik dimenzió alakját,

kiterjedését nem. Előfordul, hogy a felület makroszkópi méretekben deformált, kopott és a klasszikus roncsolásmentes eljárásokkal megvizsgálva indikációktól mentes, mert a kimutatási, észlelési határ alatti az elváltozások mérete. Sok esetben az üzemeltető nemcsak arra kíváncsi, hogy mekkora ez az elváltozás, hanem arra is, hogy mi okozhatta, várható-e a közeljövőben hasonló károsodás, és ha igen, annak milyen következményei lehetnek? Erre vonatkozóan a klasszikus roncsolásmentes vizsgálatok kiegészítésre szorulnak. A metallográfiai vizsgálatokból „kölcsönzött” módszer – a replika vizsgálat – viszont sok esetben segíthet.



**10. ábra** – Egy hegesztési varrat fázisvezérelt és TOFD vizsgálatának egyidejű megjelenítése. A varrat felül- (a), oldal- (b), és előlnézeti (c) keresztmetszeti képe, valamint A-kép (d) és TOFD kép (e) egyidejűleg az ultrahangos műszer kijelzőjén.

**Fig. 10.** – Phased array and TOFD test of a weld. The cross section of the weld viewed from top (a), side (b) and front (c) position, A-scan (d) and TOFD image (e) presented in the same time by the screen of the ultrasonic device.

A lenyomatos technika nem új eljárás az anyagvizsgálatok közt, de a technológiai fejlődésnek, az új vizsgálóanyagoknak és berendezéseknek köszönhetően a szövetszerkezeti vizsgálaton túl a 20–25 évvel ezelőttinél sokkal szélesebb körben alkalmazható.

Az eljárás során a szennyeződésektől megfelelően megtisztított felületre lágyított acetátfóliát vagy egy speciális pisztolyból kétkomponensű szilikongumit visznek fel, mely a kialakult felszíni egyenetlenségekbe beleszikkad, felveszi a felületi érdességet. Száradás után a fólia vagy gumiréteg levehető, és a felület negatív kontúrját tartalmazza. Az így elkészített minta további vizsgálatára labo-



ratóriumban optikai vagy elektronmikroszkóppal kerül sor széles nagyítás tartományban. Az eljárás a szokásos roncsolásmentes felületi hibakereső vizsgálatok (elsősorban a folyadékbehatolásos és a mágnesezhető poros) érzékenységi határát meghaladja, segítségével egészen kis mélységű mikropedések is kimutathatók, hiszen az eljárás felbontóképessége kiváló, már 0,1 µm méretű részletek is felismerhetők.

Leggyakrabban fogaskerekerek érintkező felületeinek vizsgálatára használtuk a módszert, de bármilyen egymással érintkező felületek minősége, kopottsága, elhasználódás elemezhető vele (pl. vasúti abroncs–sín, csúszka–szán kapcsolat, szeleptányér–szelepülék...). Forgácsoló megmunkálások esetén a késztermék felületi minősége, illetve a szerszám kopottsága ellenőrizhető (pl. nagy pontosságú tűréssel illesztett alkatrészek, optikai lencsék felülete). A témával kapcsolatban részletes, fényképfelvételekkel kibővített leírás az Anyagvizsgálók Lapjának jelen számában is olvasható [4].

## 5. A hibavizsgálatok szerepe a további üzemeltethetőségben

Egy szerkezet üzemeltetési kockázatát és maradék élettartamát a hibára leginkább hajlamos alkatrész határozza meg. A tervezői számítás és az üzemeltetői tapasztalat sok esetben ezeket a részeket pontosan meghatározza, bizonyos időközökkel előírja vizsgálatukat. Ritka az olyan eset, amikor az észlelt rendellenes elváltozások minősítésére kész eljárások léteznek, illetve a berendezések dokumentációja az élettartam csökkenéséről is tartalmaz információt. Repülőgép karbantartás, gázturbinás erőművek és atomerőműi berendezések esetén bevett gyakorlat az ilyen típusú dokumentáció, de régebb óta üzemelő gép-, erőmű- és vegyipari rendszerek esetén sok esetben a dokumentáció hiányosságaival szembesül a vizsgáló személyzet. Nagy probléma nem is merül fel mindaddig, amíg indikáció, eltérés, elváltozás nem kerül a felszínre. Ha mégis, akkor a vizsgálatok kiterjesztésével helyzet kezelhetőbb a helyzet.

Ebben az esetben is a különböző szakterületek szoros együttműködése szükséges, hogy az üzemeltető, karbantartó és üzemeltetést engedélyező szervezetek részére értékes, felhasználható információkat biztosítsunk.

Amennyiben a roncsolásmentes vizsgálat indikációt tár fel, célszerű annak kialakulási okát elemezni. A különböző eljárásokat jól kiegészíti a szövetszerkezeti vizsgálat lenyomat (replika)

technikával. Segítségével nemcsak acélgyártási, hőkezelési vagy üzemeltetési hibák tárhatók fel, hanem szinte bármilyen anyag (öntöttvas, szuperötvözetek, kerámia, szilikátok...) elváltozása vizsgálható mikroszkópi méretekben. A szövetszerkezet és a repedés jellegén túl, a maratótól függően vizsgálható a szemcseméret, öntöttvasaknál a grafit mikroszerkezete, a kivált fázisok és nemfémek zárványok mennyisége, illetve a laboratóriumi metallográfiában bevett szinte összes jellemző, beleértve a rétegvastagság méréseket is. A módszer képes árnyalatok átvitelére, hasonlóan kontrasztos fényképfelvételek készíthetők, mint csiszolati metaszetek esetén. Digitális technikával kiegészítve a felvételek képfeldolgozó rendszerrel tovább elemezhetők és a vizsgálat könnyen archiválható.

A feltárt különböző hibaokok más-más javító tevékenységet vonnak maguk után. Elsődleges szempont, hogy a hibát előidéző forrást ki kell küszöbölni, de intenzitását lehetőség szerint csökkenteni kell. Magas hőmérsékleten üzemelő, mechanikai feszültséggel terhelt szerkezetek egyik jellegzetes károsodási módja a kúszás, mely lassú alakváltozással, hosszabb távon kristályhibák elszaporodásával, mikro- és makropedések megjelenésével jár.

A makroszkópi felvételen (11. ábra) több, egymással párhuzamos, a varrat tengelyére merőleges indikáció látható. A 12. ábra – a lenyomatról nagyobb nagyításban készített felvétel – mutatja, hogy az egy vonalként jelentkező hibajel valójában egymással párhuzamos mikropedések és póruslancok halmaza. Az alkalmazott nagyítástartomány a vizsgálat érzékenységét kiterjesztette, a repedések és pórusok jellegzetes morfológiájából a kiváltó ok meghatározható. A hibát hiába javítanák köszörüléssel, az indikáció csak egy időre tűnne el, hiszen ha az előidéző okot nem szűnik meg, üzem közben ismét megjelennének a repedések. A maradék élettartam szempontjából ezért kiemelt fontosságú a mechanikai feszültségek csökkentése.

A következő példa egy hőcserélő köpenyének belső falán, a hegesztési varrat környezetében talált repedéseket mutatja be (13. és 14. ábra). A mágnesezhető poros vizsgálat feltárt repedések okának meghatározása csak az üzemeltető, a további tennivalók, pedig a kazánbiztos bevonásával volt meghatározható. Az üzemeltetési adatok elemzésekor kiderült, hogy a berendezés magasabb hőmérsékleten működött és a füstgáz összetétele korrózió kialakulását is elősegítő vegyületeket tartalmazott. Az acél összetételét és adott környezetbeli viselkedését ismerve feszültségkorrózió

okozta a meghibásodást. A hiba javítására szigorú kazánbiztosítási felügyelet mellett került sor, folyamatos mágneses repedésvizsgálattal és falvastagság méréssel. Az üzembe helyezést nyomáspróbának kellett megelőzni, és szigorúbb üzemi paramétereiket, valamint rendszeres üzem közbeni ellenőrzést írtak elő a készülékre. A berendezés maradék élettartama a minimálisra csökkent, hiszen a hibát kiváltó okokat nem lehetett teljesen megszüntetni, így döntés született egy új köpeny legyártásáról, mely anyaga jobban ellenáll az üzemeltetés vegyi-, hő és mechanikai igénybevételének.

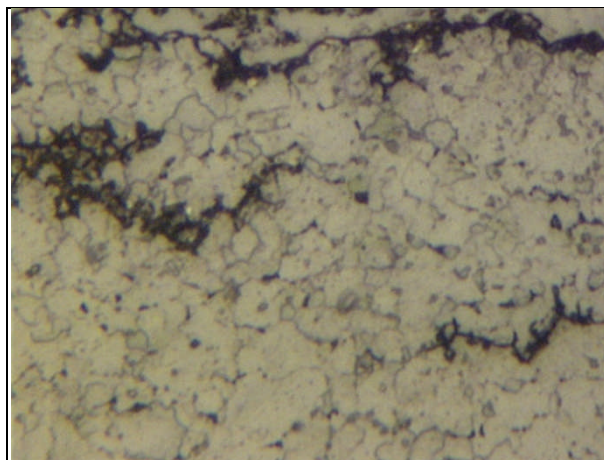


**11. ábra** – Repedések egy gőzvezeték hegesztési varratában (N ≈ 1x)  
**Fig. 11.** – Cracks in the weld of a steam pipe (M ≈ 1x)

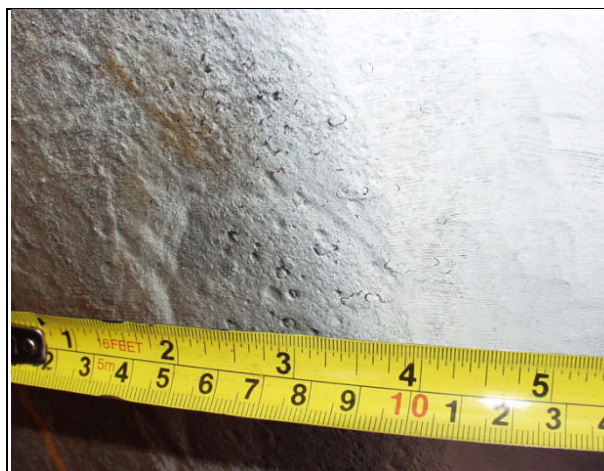
A feltárt indikációk nem feltétlenül jelentenek azonnal megoldandó problémát. Ha a hiba már bizonyíthatóan hosszabb ideje jelen van a szerkezetben, csak eddig nem diagnosztizálták és különösebb üzemi problémát sem okozott, bizonyos feltételek mellett maradhat minden a régiiben. Példaként hozható fel egy 30 éve üzemelő főgőzvezetékben talált, egyértelműen gyártási eredetű anyagfolytonossági hiány további sorsa (15. és 16. ábra).

A feltárt hiba jövőjét illetően elkerülhetetlen mérlegelni, hogy az előre várható üzemi paraméterek esetén az hogyan viselkedik, terjed-e tovább

vagy változik-e mérete. Utóbbi esetben akár maradhat is a szerkezetben, természetesen sűrített, kiterjedtebb, rendszeres ellenőrzés mellett. Ugyancsak fontos szempont, hogy a javítás megváltoztatja-e a teherviselő képességet (pl. a köszörülés jelentősen csökkenti-e a falvastagságot, a hegesztés milyen és mennyi további hibát, mechanikai feszültséget visz a rendszerbe), keletkeznek-e a további meghibásodás szempontjából kockázatos pontok. A kérdés eldöntéséhez itt is üzemeltetői, tervezői és üzemeltetést engedélyező hatóság szakembereinek együttműködése szükséges, mely az anyagvizsgálók által adott információkra és vizsgálati eredményekre alapozhat.

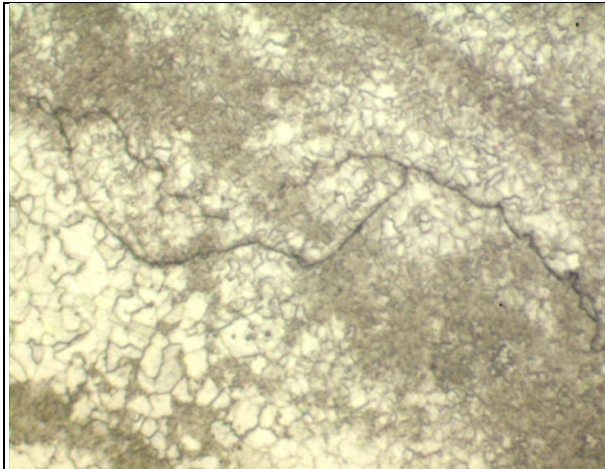


**12. ábra** – Kúszási károsodás, az indikációt kísérő repedések és pórusláncok (N ≈ 500x)  
**Fig. 12.** – Creep, cracks and chains of pore along the indication (M ≈ 500x)



**13. ábra** – Köpeny belső falán roncsolásmentes eljárással feltárt indikációk  
**Fig. 13.** – NDT indications on the inner surface of a vessel





**14. ábra** – Szemcsehatárok mentén futó feszültségkorróziós repedés a szövetszerkezetben (N ≈ 150x)

**Fig. 14.** – Intergranular stress-corrosion crack in the microstructure (M ≈ 150x)



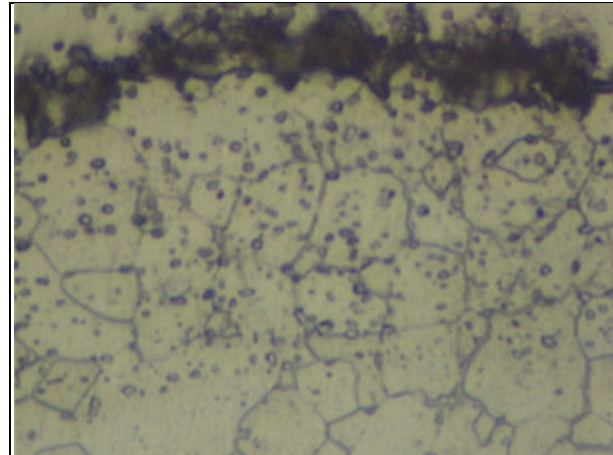
**15. ábra** – Gőzvezeték ív húzott szálán feltárt repedés, és az előkészített helyszíni lenyomat

**Fig. 15.** – Crack in the tension zone of a main steam pipe and the prepared position of the replica test

## Összefoglalás

A berendezések állapotvizsgálata és maradék élettartamának meghatározása során törekedni kell arra, hogy az előírt anyagvizsgálatok az üzemeltető, a tervező és a hatóság szakembereinek a lehető legpontosabb, szabatos, könnyen érthető és feldolgozható információt szolgáltatassák. Szükség esetén túl kell lépni a klasszikus anyagvizsgálati technikákon, azok felhasználhatóságát ki kell terjeszteni. Ez történhet új eljárások bevezetésével, a meglévők kombinálásával, kiegészítő berendezé-

sek és eszközök alkalmazásával, illetve az egyes szakterületek szorosabb együttműködésével.



**16. ábra** – Csőgyártási hibára utaló oxidfelhő, és inhomogén szemcseméret a repedés mentén (N ≈ 1000x)

**Fig. 16.** – Oxide clouds and inhomogeneous grain size along a crack indicating for pipe manufacturing defect (M ≈ 1000x)

A vizsgálatok kiterjesztésének egyik elengedhetetlen feltétele a szakemberek felkészültsége, az eljárás alkalmazhatóságának és korlátainak részletes ismerete. Fontos továbbá a jó ötlet, mely segítségével tulajdonképpen a vizsgálat hibakimutatási határa kiterjeszhető és felhasználhatósága javul. Az állapotértékelést nagyban elősegítik a korábbi vizsgálati eredmények, üzemeltetési tapasztalatok és rendszeres diagnosztikai jellegű anyagvizsgálatok eredményeinek ismerete [5]. Külön előnye ezeknek az eljárásoknak, hogy a cél elérése érdekében egymással szabadon kombinálhatók, ha elegendő idő áll rendelkezésre, viszonylag egyszerű eszközökkel is megoldható azok kiterjesztése.

## Irodalom

- [1] Méhész István; Lautner Nándor; Klausz Gábor: Hogyan bővíthető az endoszkópos vizsgálatok alkalmazhatósági köre? – 2005. IV. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás, Eger
- [2] Méhész István: Ultrahangos falvastagság mérés lehetséges módszerei – 2007. MOL szakmai fórum
- [3] Michael Moles: A „Time-Of-Flight Diffraction” (TOFD) ultrahangos anyagvizsgálati módszer alkalmazása hegesztési varratok vizsgálatára – Anyagvizsgálók lapja 2008/1



[4] Mihálovits István – Rózsavölgyi Zsolt: A helyszíni lenyomatos technika kiterjesztett alkalmazása – 2008. Anyagvizsgálat a Gyakorlatban, Kecskemét

[5] Rózsavölgyi Zsolt: Gőzkazánok szerkezeti integritásának időszakos ellenőrzése – 2007. V. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás, Eger