

RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSÁNAK TAPASZTALATAI

A szerkezetek integritásának, reális állapotának, maradék élettartamának megítélése a korszerű, gazdaságos és biztonságos üzemeltetés alapköve. A nagy értékű műszaki létesítmények, szerkezetek (hidak, hajók, repülőgépek, erőművek stb.) tervezett üzemeltetési ideje 15 – 50 év. Az elektronika - vele összhangban a mérés technika – fejlődése lehetővé teszi, hogy az említett szerkezetek, létesítmények üzemeltetési feltételeit, maradék élettartamát mind nagyobb pontossággal becsüljük meg.

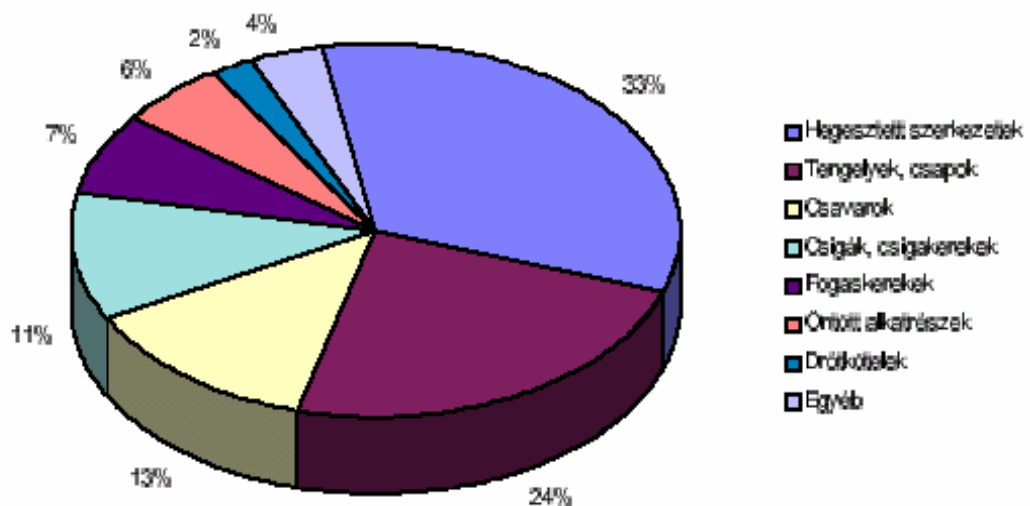
Ahhoz, hogy a berendezés állapotát a legnagyobb biztonsággal felmérhessük és a következő üzemeltetési ciklus feltételeit a legkisebb kockázattal megbecsüljük - elengedhetetlen az, hogy:

- diagnosztikai vizsgálatokkal felmérjük a szerkezet állapotát,
- meghatározzuk a valóságos üzemi körülményekre jellemző mechanikai állapotot,
- megítéljük a beépített anyagok károsodásának folyamatát és mértékét az adott üzemeltetési feltételek mellett.

A műszaki fejlődés során meglehetősen sokféle eljárás alakult ki, és kerül alkalmazásra napjainkban is. A módszerek mindegyikének létezik előnyös és hátrányos tulajdonsága, az alkalmazhatóság pedig gyakran feltételekhez kötött. Ezek ismerete nélkül lehetetlen a műszaki üzemeltetés biztonságának megfelelő szintre emelése, a kívánt vizsgálati pontosság elérése.

1. A RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT SZEREPE, A MÓDSZER KIVÁLASZTÁSA

A szerkezetek, gépek üzemeltetése során a károsodásokat legtöbbször a váratlan meghibásodások okozzák. Ilyen meghibásodások lehetnek pl. a kopás, törés, berágódás, stb. A legjelentősebb hatású meghibásodás természetesen a törés. Az 1. ábra több száz kárest okait mutatja be.



1. ábra

A törések százalékos megoszlása a különböző szerkezeti elemekben

Az ábra alapján látható, hogy a hegesztett kötések környezete a törések legnagyobb hányadát adta. Ebből adódik, hogy a hegesztett kötések vizsgálata rendkívül fontos. Mivel a hegesztési varrat félkész vagy késztermékben található, a roncsolás mentes anyagvizsgálat kerül előtérbe, hogy a vizsgálat elvégeztével az alkalmas alkatrészek újra beépíthetőek maradjanak.

A műszaki gyakorlatban többféle roncsolás mentes vizsgálatot alkalmaznak, azonban a módszerek eredményességét sok tényező befolyásolja (anyagminőség, anyagvastagság, hiba nagysága és helyzete, a hiba jellege, a vizsgálati körülmények, gazdaságossági szempontok stb.).A különböző típusú, méretű, elhelyezkedésű hibák megtalálása, méreteinek meghatározása eltérő vizsgálati módszert igényelhet. Előfordul, hogy egyazon hibát más- más módszerrel vizsgálva eltérő eredményt kapunk. Fontos tehát a vizsgáló személy részéről tudni az egyes eljárások alkalmazhatóságának feltételeit és korlátait, megbízhatósági jellemzőit (1.táblázat).

1.táblázat

Eljárások általános összehasonlítása

<i>Jellemző paraméter</i>	Vizsgálati módszer				
	Folyadékpenetrációs	Ultrahangos	Röntgen	Mágneses	Örvényáram
<i>Alapköltség</i>	alacsony	közepes, magas	magas	közepes	közepes
<i>Használati költség</i>	közepes	nagyon alacsony	magas	közepes	alacsony
<i>Eredmény</i>	rövid várakozás	azonnal	később	rövid várakozás	azonnal
<i>Geometria hatása</i>	nem lényeges	lényeges	lényeges	nem lényeges	lényeges
<i>Hozzáférési gondok</i>	lényeges	lényeges	lényeges	lényeges	lényeges
<i>Hibatípusok</i>	felületi repedés	belső	mind	külső	külső
<i>Relatív érzékenység</i>	alacsony	magas	közepes	alacsony	magas
<i>Hivatalos jelentés</i>	nem szokványos	drága	szabványos	nem szokványos	drága
<i>Kezelő képzettsége</i>	alacsony	magas	magas	alacsony	közepes
<i>Kezelő betanítása</i>	-	fontos	fontos	fontos	fontos
<i>Betanítás költsége</i>	alacsony	magas	magas	alacsony	közepes
<i>Berendezés hordozhatósága</i>	magas	magas	alacsony	magas, közepes	magas, közepes
<i>Anyagtól való függés</i>	gyenge	erős	meglehetősen nagy	csak mágneses	erős
<i>Automatizálhatóság</i>	gyenge	jó	rossz	gyenge	jó

2.A LEGGYAKORIBB RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLÓ ELJÁRÁSOK

2.1 SZEMREVÉTELEZÉS

A vizsgálat a felületen elhelyezkedő hibák kimutatásának legegyszerűbb módszere Repülőgépek üzemeltetési rendszerében mindennapos eljárás. Alkalmazása történhet önálló eljárásként (nagyobb méretű hibák feltárására), de sok esetben valamely más vizsgálat kiegészítőjeként is. Az emberi szem felbontóképessége és érzékenysége nagymértékben különbözik az egyéb észlelési módszerektől és a gépi, automatikus észlelésekkel összehasonlítva nem elhanyagolható a szubjektív hatás (2. és 3. táblázat).

A gépi és az emberi észlelés összehasonlítása

2.táblázat

<i>Jellemző paraméter</i>	Gépi észlelés	Emberi észlelés
<i>Távolság</i>	korlátolt képesség	jó minőségű észlelés
<i>Orientáció</i>	2 dimenzióban megfelelő	jó minőségű észlelés
<i>Mozgás</i>	korlátolt, érzékeny a képességre	jó minőségű észlelés
<i>Élek, tartományok érzékelése</i>	éles kontrasztú kép szükséges	magasan fejlett
<i>Alakfelismerés</i>	jó mennyiségi elemzésre	csak minőségi észlelésre
<i>Képrendezés</i>	speciális szoftver szükséges; korlátolt lehetőség	magasan fejlett
<i>Felületi árnyékok észlelése</i>	korlátolt, szürkeárnyalatos lehetőség	magasan fejlett
<i>2 dimenziós kiértékelés</i>	jellegzetes alakokra kitűnően alkalmazható	magasan fejlett
<i>3 dimenziós kiértékelés</i>	erősen korlátolt lehetőség	magasan fejlett

3.táblázat

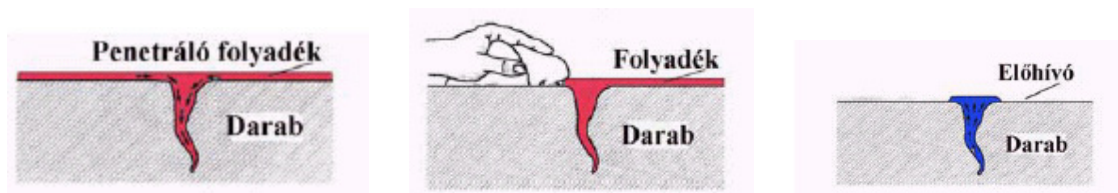
<i>Vizsgált tulajdonság</i>	Gépi észlelés	Emberi észlelés
<i>Felbontóképesség</i>	a pixel ¹ mérete korlátozza	magas felbontóképesség
<i>Feldolgozási sebesség</i>	a másodperc tört része képenként	valós idejű feldolgozás
<i>Elkülönítőképeség</i>	magas kontrasztú képekre korlátozott	nagyon érzékeny
<i>Pontoság</i>	mennyiségi elkülönítés esetén pontos; nagyobb számú vizsgálatnál a pontosság állandó értékű marad	minőségi elkülönítés esetén pontos; nagyobb számú vizsgálatnál a pontosság csökken
<i>Működési költség</i>	alacsony számú vizsgálatnál magas, nagy számú vizsgálatkor olcsóbb mint a szemrevételezéses vizsgálat	alacsony számú vizsgálatnál olcsóbb mint a gépi vizsgálat
<i>Általánosan</i>	nagyszámú vizsgálatnál előnyös	alacsony számú vizsgálatnál előnyös

Az összevetésből jól kitűnik, hogy nagyobb számú azonos alkatrész vizsgálatánál, a megfelelő dokumentálást is biztosító és a szubjektivitástól is mentesebb gépi vizsgálatokat célszerű választani.

Egyedi vizsgálatnál, vagy előzetes tájékozódás esetén hasznosabb a sokszor több részletet feltáró szemrevételezés.

2.2 FESTÉKPENETRÁCIÓS VIZSGÁLAT

A vizsgálat során a vizsgálandó felületre - annak megfelelő megtisztítása után – egy, szabad szemmel jól látható színű (vagy fluoreszkáló) folyadékot kell feljuttatni előírt módon. Meghatározott idő eltelte után (amíg a jelző anyag a felületi repedésbe behatol) a festékanyagot el kell távolítani a munkadarab felszínéről. Ezután az "előhívó" anyag felhordása következik, ami a repedésekbe beszivárgott jelzőanyag felszínre emelését végzi el. A repedésekben megmaradt és onnan visszazívott festék az előhívó rétegen éles kontraszttal mutatja meg a repedés helyét (2. ábra).



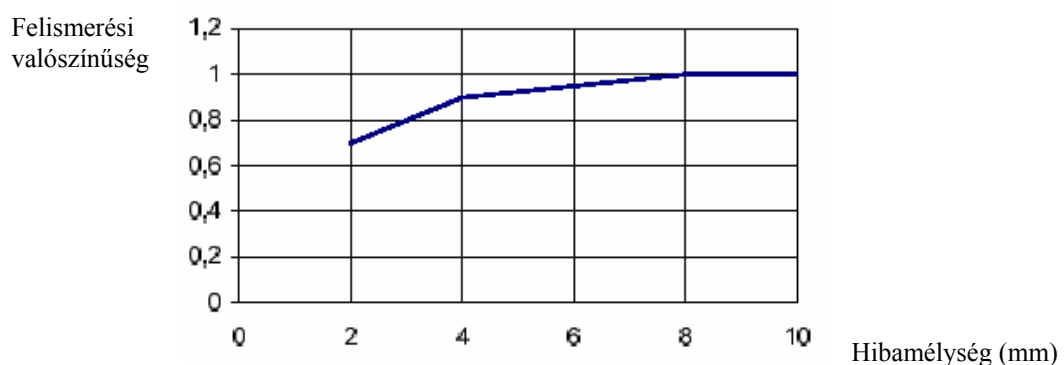
2. ábra
A penetrációs vizsgálat elve

Az eljárás hátránya hogy csak bizonyos méreten felüli felületi, vagy felületre nyitott repedések kimutatása lehetséges ezen módon. Porózus felületű munkadarabok nem vizsgálhatók, mert a pórusok hibaként jelennek meg.

A kimutatható legkisebb repedés körülbelül 5 μm szélességű és 10 μm mélységű. Az érzékenységet meghatározó tényezők:

- a nedvesítés mértéke,
- a repedés geometriája,
- a felület tisztasága,
- a vizsgálatra rendelkezésre álló idő,
- a vizsgáló személy felkészültsége,
- a vizsgáló és előhívó folyadék minősége,
- a kiértékelés során a megvilágítás mértéke,

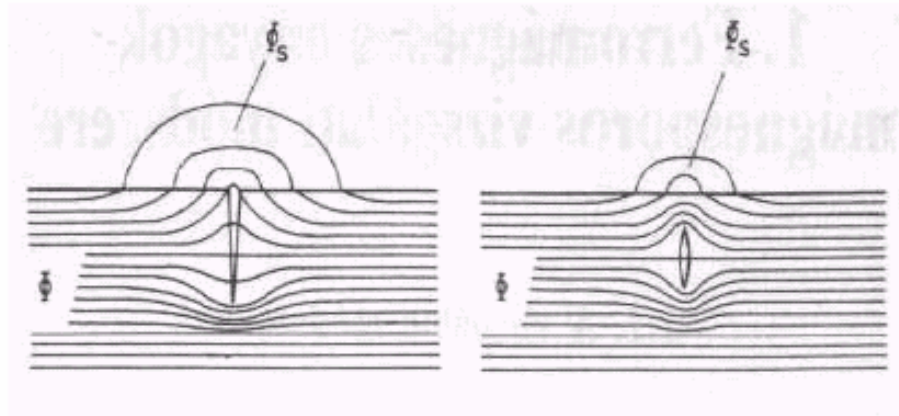
Különböző kutatások eredményeképpen az észlelhető hiba mérete és a felismerés valószínűsége a 3. ábrán látható.



3. ábra
Hiba-felismerési valószínűség folyadék penetrációs módszer esetén

2.3 MÁGNESES REPEDÉSVIZSGÁLAT

A mágneses erővonalak irányát a vizsgálandó anyagban található eltérő anyagú és mágneses permeabilitású részek eltérítik. Ezen erővonalak láthatóvá tétele révén a hiba helye meghatározható (4. ábra).



4. ábra
A mágneses vizsgálat elve

A vizsgálatot csak ferromágneses anyagokon lehet elvégezni.

Az eljárásnak két fő változata létezik, a száraz poros valamint a nedves vizsgálati módszer. A száraz változat egyszerűbb és a felülethez közel eső hibák esetében pontosabb, míg a nedves mágneses eljárás kisebb repedésméret esetében is nagyobb felismerési pontosságot tesz lehetővé.

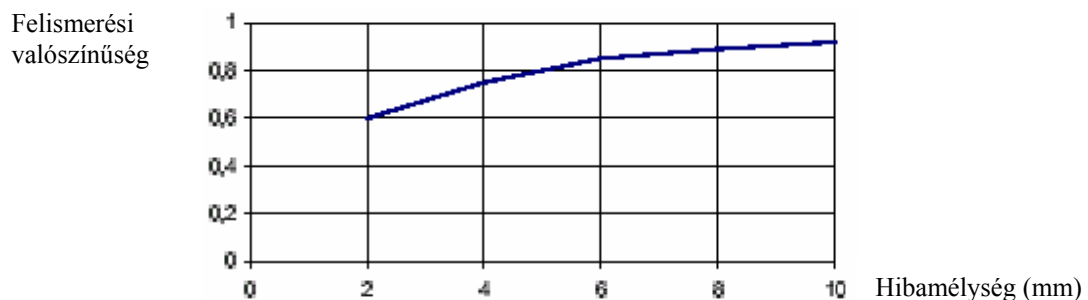
A vizsgálat jellegzetességei

Általánosságban megállapítható, hogy olyan hibák felderítésére alkalmas ahol a hiba hossza legalább háromszorosa a szélességének. A repedésnek közel kell elhelyezkednie a felülethez (6 mm-nél mélyebben fekvő hibák kimutatásához speciális eljárás szükséges).

A vizsgálat során alkalmazott mágneses mező erővonalai 45- 90 fok közötti szöget zárjon be a repedés hossz tengelyével.

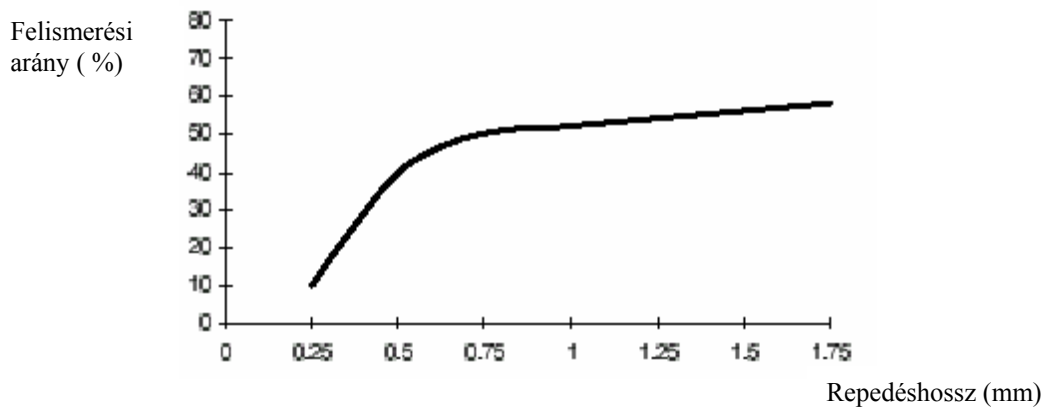
A felületen lévő nem mágnesezhető bevonat maximum 0,075 mm –ig nem befolyásolja a vizsgálat hatékonyságát, ferromágneses anyagú bevonat csak 0, 025 mm- ig engedhető meg .

A módszerre jellemző általános hatékonyságot az 5. ábra jellemzi.



5. ábra
Hiba-felismerési valószínűség mágneses repedésvizsgálatnál

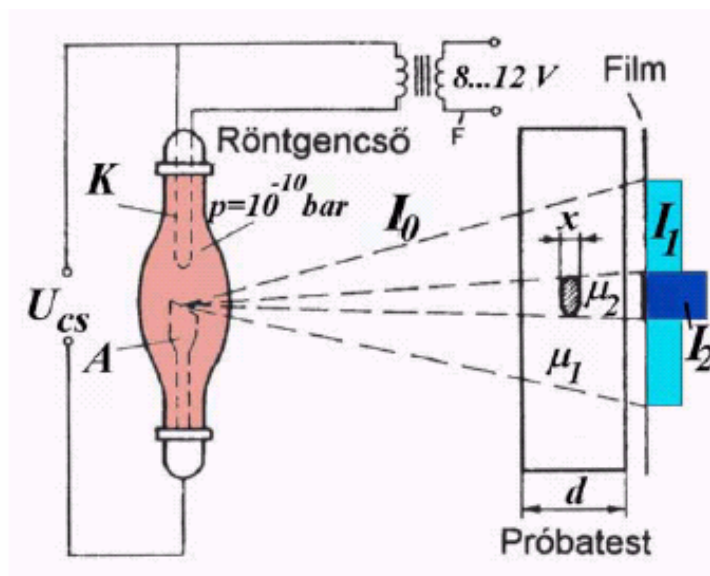
Speciális alkatrészek vizsgálatára kifejleszhető célkészülék, mellyel a vizsgálati hatékonyság, érzékenység jelentősen megnövelhető (6. ábra).



6. ábra
Turbinalapát vizsgálatára alkalmazott készülék hiba felismerési valószínűsége

2.4. RÖNTGEN VIZSGÁLAT

A vizsgálat elvét a 7. ábra szemlélteti. A légritkított üvegcsőbe két elektróda kerül elhelyezésre (Anód, Katód), melyekre nagyfeszültségű egyenáramot kapcsolnak (U_{cs}). Az alacsony nyomású térben a 8-12 V fűtőfeszültség hatására az izzó katódból elektronok lépnek ki, melyek a csőfeszültség hatására felgyorsulnak és nagysebességgel az anódnak ütköznek. A becsapódó elektronok mozgási energiájának több mint 99 százaléka hővé alakul, a megmaradó részből röntgensugárzás keletkezik.



7. ábra
A röntgensugaras vizsgálat elve

Anyagvizsgálati célokra a sugárzás azon tulajdonságát használhatjuk fel, hogy valamely tárgyon való áthaladás során a sugárzás intenzitása csökken, az anyagra jellemző elnyelési együttható függvényében.

$$I_1 = I_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

A vizsgálat során az I_0 kezdeti intenzitású röntgensugarak egy része az ellenőrzendő alkatrész d anyagvastagságán áthaladva I_1 intenzitásúra, míg azok a sugarak amelyek az x vastagsági mérettel jellemezhető hibás részen haladnak át I_2 intenzitásúra csökkennek. A munkadarab ellentétes oldalán elhelyezett film különböző mértékben feketedik el, a nagyobb intenzitás (I_2) erősebb feketedést okoz mint a kisebb intenzitású sugárzás.

A röntgensugárzás sokféle képen kimutatható (Geiger- Müller számláló, ionizációs kamra, stb.) anyagvizsgálatra azonban a fényérzékeny filmes eljárást alkalmazzák, így a film egyben dokumentációként is szerepel.

Mivel az elkészített felvétel a vizsgált alkatrész egy adott irányú vetülete, ezért a hibának is vetületi képét nyerjük. A pontos hiba-meghatározáshoz többirányú felvétel készítése szükséges. A felvétel minősége döntő a vizsgálat pontossága tekintetében!

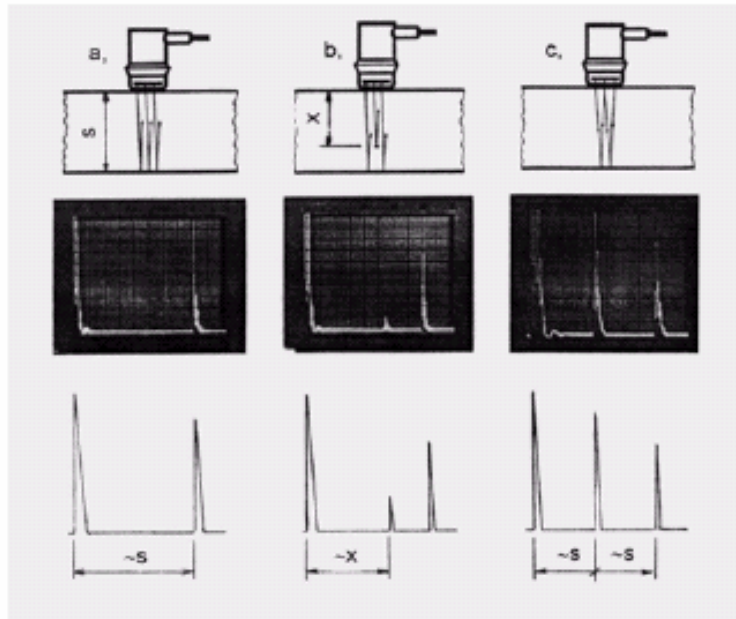
Az elkészített felvétel minőségét befolyásoló tényezők:

- az anyag minősége
- az ezüst- halogenid szemcsék nagysága (film minősége)
- az expozíciós idő
- a röntgenszó feszültsége és a fűtőáram nagysága
- a film és a sugárforrás egymástól való távolsága
- a vizsgált tárgy és a film távolsága

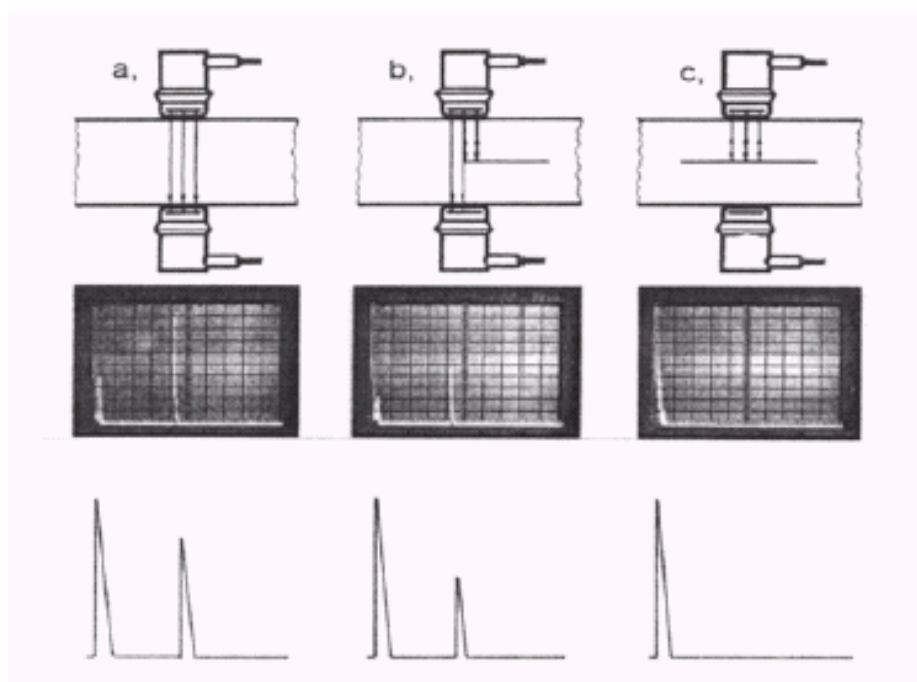
2.5. ULTRAHANGOS VIZSGÁLAT

Az ultrahangos vizsgálat során az ultrahang azon tulajdonságát használjuk fel, hogy különböző közegekben eltérő sebességgel halad és a más-más akusztikai sűrűségű anyag határához érve a hangnyaláb elhajlik illetve visszaverődik. Ilyen eltérő akusztikai tulajdonságú anyag lehet a hegesztési varratban található esetleges zárvány (gáz vagy salak) illetve repedés. A hibátlan alkatrészek esetében csak a darab határfelületéről verődik vissza az ultrahang, amennyiben hibás részeket is tartalmaz az alkatrész úgy a hiba felületéről is tapasztalhatunk visszaverődést.

A vizsgálatokat két fő módszer szerint lehet elvégezni, impulzus – visszaverődéses eljárással (8. ábra) vagy átbocsátás elvén működő eljárással (9. ábra).



8. ábra
Az impulzus - visszaverődéses eljárás elve



9. ábra
A hang átsugárzásos eljárás elvén működő vizsgálat

A kijelzőn tapasztalható visszaverődési jelek és a hiba nagysága között nincs egyértelmű összefüggés, a jel amplitúdó sok tényezőtől függ. A legfontosabb befolyásoló hatások:

- a munkadarab mikroszerkezete

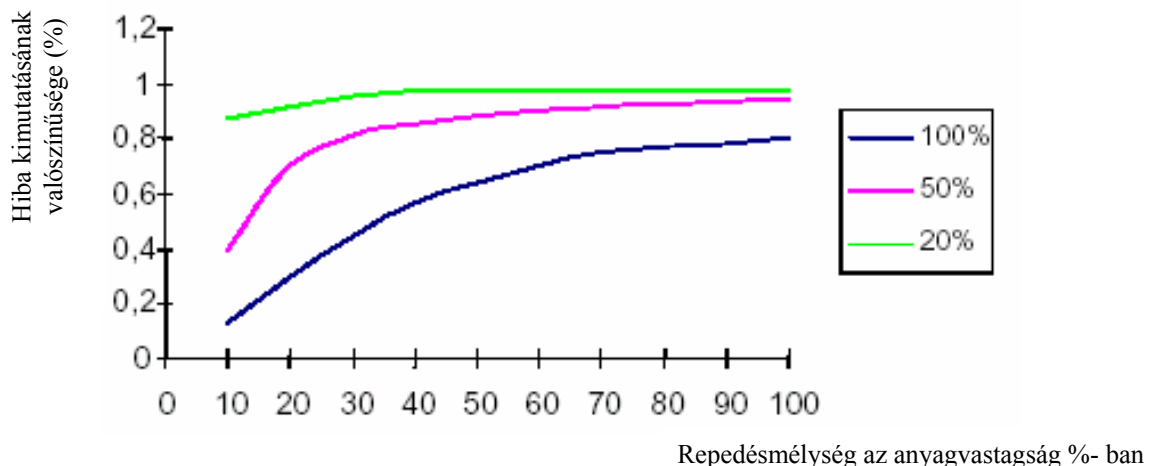
- szemcseméret
- a hiba távolsága a felülettől
- a hiba alakja
- a hiba orientációja
- mérési impedanciák különbsége, hullámforma (transzverzális, longitudinális)

A mérések során könnyen előfordulhat hamis hibajel , melyet a következő tényezők okozhatnak:

- mérőkészülék elektromos részeinek meghibásodása
- adófej törése
- légbuborék a csatolóközegben
- a munkadarab bonyolult alakja
- szemcsehatárok hatása
- hullámforma változás
- hegesztési varrat hőhatás övezete

Az ultrahangos vizsgálatok megbízhatósága a digitális technológia fejlődésével egyre növekszik. E technológia további előnye az adatok tárolásának, reprodukálhatóságának, adatok továbbításának terén tapasztalható.

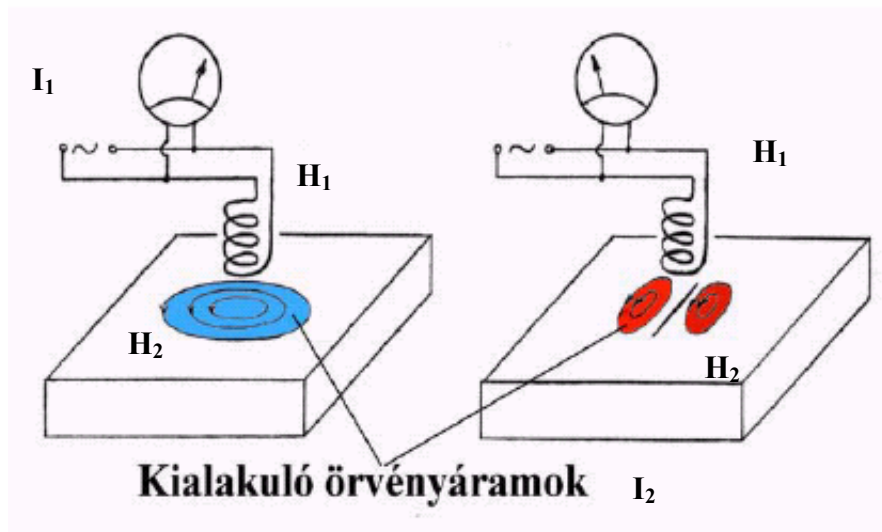
Az eljárás hatékonyságának jellemzésére a **DAC** (Distance Amplitude Correction) görbe használható leginkább. A görbe az azonos visszaverődő felületről, különböző mélységből visszavert sugarak amplitúdójának és mélységének kapcsolatát fejezi ki (10. ábra).



10. ábra
Hibakimutatás valószínűsége a DAC figyelembe vételével

2.6. ÖRVÉNYÁRAMOS REOEDÉSVIZSGÁLAT

Ha egy tekercsben váltakozó áram folyik (I_1) akkor a tekercs körüli térben váltakozó mágneses mező indukálódik (H_1). Ebben a mágneses térben az odahelyezett elektromos vezetőben a változó mágneses mező hatására váltakozó áram indukálódik (I_2 örvényáram). A keletkezett örvényáram iránya olyan, hogy az általa létrehozott mágneses mező (H_2) a H_1 mágneses mezőt gyengíteni igyekszik. Repedések, egyéb felületi hibák megváltoztatják a felületen indukálódó örvényáram nagyságát és ez a változás megmutatkozik a H_2 mágneses mező nagyságában is. Az anyagvizsgálat során érzékeny elektronikus készülékkel mérjük az említett változást (11. ábra).



11. ábra
Az örvényáramos repedésvizsgálat elve

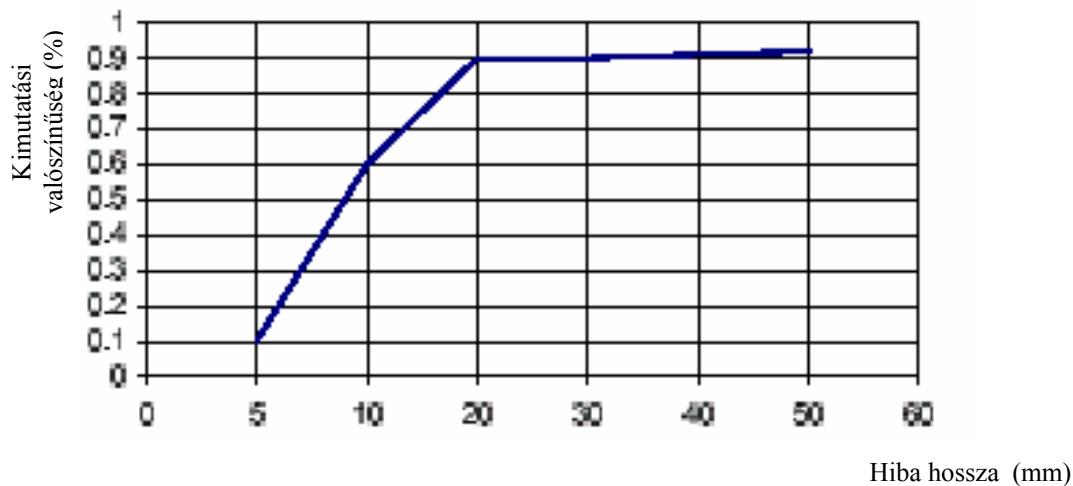
Mivel az anyagvizsgálat során a vizsgált tárgyban haladó áram komplex impedanciájának változását mérjük, a mérőkészülék kijelzőjén a Z impedancia érték vektora a kétdimenziós kijelzőn egy pont képében jelenik meg. Repedés érzékelése esetén a Z_0 pontba mutató vektor helyzete Z_1 pontba mutatóra változik.

A módszer legfontosabb sajátossága, hogy csak elektromos vezető anyagok esetében használható és a "Skin- effektus" jelentkezése miatt csak korlátozott mértékű az ellenőrizhető anyagmélység.

Az ellenőrzések, mérések során rendkívül sok mérési hatékonyságot befolyásoló tényező hatását kell figyelembe venni:

- a vizsgálati frekvencia
- a vizsgáló szonda mérete, alakja, kialakítása
- a környezeti hőmérséklet, illetve annak változása
- a mérő elektronika minősége
- a vizsgált anyag vezetőképessége
- a felderítendő hiba fajtája
- a munkadarab felületének állapota
- a vizsgált alkatrész alakja, mérete
- az alkatrész anyagának állapota
- más vezető anyag jelenléte, közelsége

Az általános anyagvizsgálatra vonatkozó projectek alapján az eljárás hatékonyságát a 12. ábra szemlélteti.



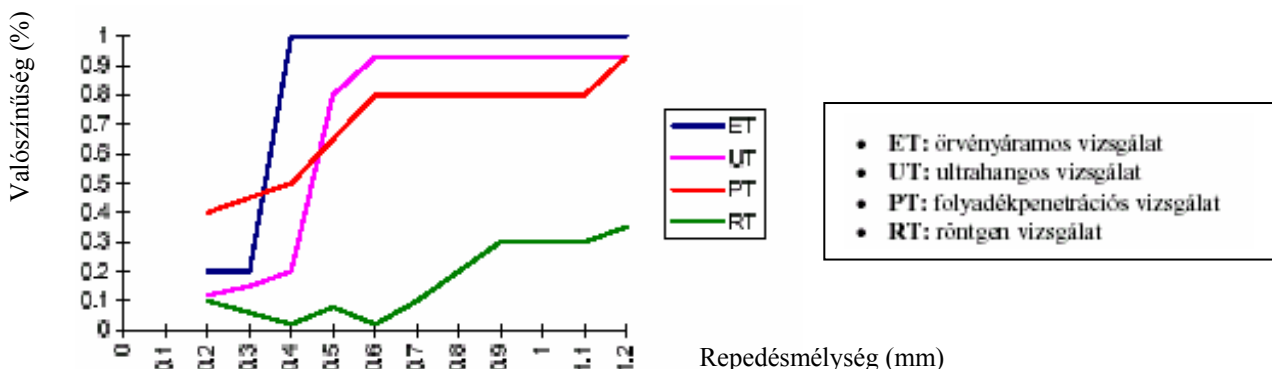
12. ábra
Hiba felismerésének valószínűsége örvényáramos eljárás esetén

3. A RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK ÖSSZEFOGLALÓ ÖSSZEVEETÉSE

A különböző említett vizsgálati eljárások közül egyik sem alkalmazható tökéletes biztonsággal, és várhatóan nem is fogják a fejlesztések során elérni ezt az ideális szintet. Az üzemeltetők egyetlen lehetősége a tények, tapasztalatok figyelembe vételével, a megbízhatóság szem előtt tartásával végezni ellenőrzéseiket. A gyártás és működés közbeni vizsgálat fontos eszköz a megbízhatóság növelésére. A pontos vizsgálatok érdekében a helyes módszer kiválasztása döntő, bár sok esetben anyagi lehetőségek is befolyásoló hatást fejtenek ki.

Az üzemeltetett gép szerkezeti integritásának megítélésében a vizsgálatok eredményei alapvetőek, bár ezen eredmények viszont a vizsgáló személy felkészültségét is tartalmazzák. Elmondható tehát, hogy a valóban pontos vizsgálati végeredmény nem egyszerűen egy mérési eredmény, hanem ELJÁRÁS- ESZKÖZ- VIZSGÁLÓ SZEMÉLY rendszer helyes összeállításának eredménye.

A módszer kiválasztáshatásának hatását szemléltetendő a következő összevetés látható a 13. ábrán.



13. ábra
Különböző vizsgáló eljárások megbízhatósági összevetése

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR ROHÁCS J.-SIMON I: Repülőgépek és helikopterek üzemeltetési zsebkönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.
- [2] KAJDI GY.: Anyagvizsgálat mágneses és folyadékbehatolásos módszerekkel, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
- [3] Dr.Réti P: Korszerű fémipari anyagvizsgálat, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983
- [4] I.G. Horbenko.: Ultrahang a gépészetben Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977
- [5] DR. Tóth L. Serge C. : Ronsolásmentes vizsgálati módszerek, Miskolci Egyetem, Miskolc, 1999