

Fejlődési irányok a roncsolásmentes vizsgálatok területén a 6. ECNDT tükrében

Dr. Karsai István* – Fücsök Ferenc**

Előzmények

A roncsolásmentes anyagvizsgálat növekvő jelentőségét mutatja, hogy már a hatodik európai konferenciáját rendezték meg Nizzában 1994. október 24–28. között.

A konferencia, több mint 1100 résztvevővel, túlnőtt minden várakozást. A nagy érdeklődés egyik mozgatója minden bizonnyal az volt, hogy az előző rendezvény 1992-ben elmaradt. A magyarázatot nem az érdeklődés hiánya, hanem a tervezett helyszín adja: Szarajevó.

A történelem által törölt konferencia után nagy lendülettel kezdett szervezni a Cofrend (Francia Roncsolásmentes Anyagvizsgálók Szövetsége). Az európai rendezvények eddig minden alkalommal az ECNDT (European Council for Non – Destructive Testing) felügyelete alatt álltak, így most is nagy segítséget adtak a szervezéshez a nemzeti szövetségek. Magyarországon a GTE Roncsolásmentes Anyagvizsgálók Szakbizottsága és az Anyagvizsgálók Lapja segítette az információáramlást. Ennek is köszönhető, hogy hét magyar anyagvizsgáló-növelhette a résztvevők számát, megelőzve ezzel nagyobb, iparilag fejlettebb országokat. Az 1. táblázat a hivatalos résztvevői lista alapján készült.

Ország	Fő	Ország	Fő
Algéria	5	Magyarország	7
Argentína	1	Marocco	2
Ausztrália	1	Mexikó	2
Ausztria	8	Németország	95
Belgium	39	Norvégia	10
Belorusszia	4	Olaszország	27
Bulgária	1	Oroszország	32
Canada	9	Pakisztán	1
Cseh Köztársaság	2	Portugália	3
Dánia	21	Románia	5
Dél-Afrika	3	Senegal	1
Egyesült Királyság	42	Spanyolország	9
Finnország	7	Svájc	7
Franciaország	616	Svédország	41
Görögország	3	Szerbia	1
Hollandia	32	Szlovákia	2
India	5	Szlovénia	2
Izrael	8	Taiwan	1
Japán	20	Tunézia	2
Kína	6	Ukrajna	3
Lengyelország	5	USA	23
Luxemburg	1		

1. táblázat. Résztvevők száma országonként

A konferenciáról

Az egész konferencia ideje alatt érezhető volt, hogy hatalmas apparátus igen jól szervezettel dolgozik a háttérben. Ez a szervezethez már a nyitó ünnepségen is megmutatkozott, ahol

* Magyar Mémókaakadémia

** Erőkar Rt. Anyagvizsgáló és Állapotellenőrző Laboratórium

a szokásos beszédeken kívül még két díj is kiosztásra került:

A Reconnaissances ECNDT díjat – nevének megfelelően – nem csak a tudományos és technikai munka, hanem az európai nemzetek konstruktív kapcsolatai fejlesztésének elismerésére adományozzák.

A díjazottak:

Dr. J. M. Farley, a British Institut of NDT past President-je

H. Wüstenberg professzor, a berlini BAM igazgatója

W. Husarek, francia bányamérnök

R. Saglió, a 6. ECNDT Scientific Committee elnöke

A CND Innovation díjjal támogatják a roncsolásmentes vizsgálatok területén végzett kutatásokat. Nizzában a következőket díjazták:

Arany fokozat: S. Moysan, IVT, Franciaország
Ezüst fokozat: E. Winschuh, Siemens, Németország

Bronz fokozat: M. Descombes, CAST – INSA Franciaország

Jelképes és igen szemléletes, hogy a díjhoz tartozó trófea az üvegszerűen átlátszó hegyikristályból készült, ezzel is jelképezve a roncsolásmentes vizsgálatok lehetőségeit és teljesítőképességét.

Ebben a kategóriában Mention Spéciale (elismerő oklevél) kitüntetést kapott Xavier Gros angliai kutató a roncsolásmentes vizsgálatok területén alkalmazott adatfúziós munkájáért, és akit ebben az újságban is idézünk.

Mint az 1. táblázatból is látszik, a konferencia, annak ellenére, hogy európai rendezvény volt, túlnőtt Európa határain és globális dimenziót kapott. Nem csak az iparilag fejlett Japán és USA képviseltette magát, hanem Dél-Afrika és Senegal is. Emlékeztet marad számunkra az első ebéd, amikor az asztaltársaság együtt derült az egyetlen ausztráliai küldött angol kiejtésén.

Pontosan számolva 1147 küldött volt jelen a világ 43 országából és előadott, illetve meghallgatott 312 előadást. Ilyen nagyszámú előadást csak egymással párhuzamosan futó 2 plenáris 3 speciális és 3–5 poszter szekcióban lehet lebonyolítani. Ennek pedig az a következménye, hogy a szegény résztvevők állandóan azt hiszik, valami fontosról lemaradnak.

A konferencia fő témái voltak:

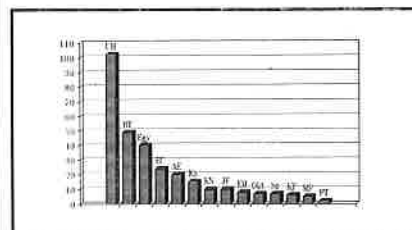
- az atomerőművek vizsgálata és biztonsága,
- vizsgálatok a repülő- és űrparban,
- a neutronradiográfia használata,
- szakemberek képzése és minősítése,
- környezeti hatások.

Speciális témacsoportokban rendeztek előadásokat, így:

- akusztikus emisszió,
- ultrahangos vizsgálatok modellezése és ipari alkalmazásai,
- kompozitok roncsolásmentes vizsgálatai,
- örvényáramos vizsgálat,
- adatfeldolgozás,

- különleges technikák,
- szabványosítás.

A témák pontos felosztását a 1. ábra mutatja be. Elgondolkodtató, hogy az ultrahangos vizsgálat az előadások 1/3-ának volt témája, és a sorban második radiográfia számban a felét sem érte el. Ez a tendencia több mint egy évtizede jellemző, és most sem volt benne változás. A megbízhatóság növelésére alkalmazott komplex módszerekkel foglalkozó cikkek száma is jelentős. Érdekes még, hogy a számítástechnikából ismert jelfeldolgozás és képfeldolgozás önálló „módszerként” tűnik fel.



1. ábra. Az előadások módszerek szerinti megoszlása

UH – Ultrahangos vizsgálatok; RT – Radiológiai vizsgálatok; Egy – Egyéb, iparilag nem elterjedt módszerek; EC – Örvényáramos vizsgálat; AE – Akusztikus emisszió; Ko – Komplex vizsgálati módszerek; KN – Komplex módszerek a nukleáris iparban; JF – Jelfeldolgozás; EM – Elektromágneses módszerek; Okt – Okítás, minősítés; Sz – Szabványosítás; KP – Képfeldolgozás; MP – Mágneses repedésvizsgálat; PT – Penetrációs vizsgálat

A kongresszus jól tükrözte az iparban megfigyelhető fő trendeket és a jövő fejlődési irányait:

- a mikroszámítógépek és bonyolult technológiák növekvő felhasználása a vizsgálat és értékelő rendszerekben,
- számítógépes fejlődés a vizsgálatberendezések ergonomiájában,
- növekvő aktivitás a modellezésben és simulációban,
- fejlődés az adatfeldolgozásban és elemzésben,
- a sokoldalú berendezések új választékának megjelenése, melyek képesek azt a technológiát alkalmazni, amelyik illeszkedik az igényekhez,
- új technikák feltűnése, amelyek haladást hoznak a mikrotechnológiában, például az EMAT-ok és a Barkhausen-effektuson alapuló készülékek.

Több országból jelentkeztek szerzők a roncsolásmentes vizsgálatot végző dolgozók képzéséről, és az ezt végző minősítő rendszerről szóló cikkekkel. Sőt, egy szerző a roncsolásmentes anyagvizsgáló mérnök képzésének szükségességét is felvetette. A vizsgálati mélyzet képesítése nagyon érdekes kérdés, mivel az EN 473 szabvány a legtöbb európai országban már hatályba lépett.

Növekvő érdeklődés volt a környezetbarát roncsolásmentes vizsgálati technológiák iránt.

Ez főképp a röntgenvizsgálatoknál, a mágneses repedésvizsgálatoknál és a penetrációs vizsgá-
ló anyagoknál volt tapasztalható.

A kongresszus mellett természetesen kiállítást is rendeztek a résztvevőknek. Ezen 11 országból 135 vizsgálóberendezéseket gyártó cég állított ki több mint 2000 m²-en. Nem lehet célunk kiemelni ekkora tömegből néhány céget, ezért csak a személyes benyomásokat mondhatjuk el.

Ha valaki úgy sétált végig a standok között, hogy nem tudta, roncsolásmentes vizsgálatról van szó, azt hihette, számítógépes kiállításon van. Szinte nem volt olyan kiállító, ahol nem működött kisebb-nagyobb számítógéppel összekötött berendezés. A kivételek is félrevezető, mert sok vizsgálógépbe van beépítve komputer. Volt olyan kiállító, ahol az 5–10 évvel ezelőtti szokásos méretű ultrahangos vizsgálógépbe a teljes kiértékelő szoftveren kívül még a három koordinátán mozgó mechanizmus vezérlését és helyérzékelését is beleszúfolták. Persze a hozzátartozó ár mutatja a gépegység sokoldalúságát. Még a vizuális vizsgálatokhoz tartozó endoszkópos cégek is használnak nagy sebességű számítógépeket a képfeldolgozás pontosabbá és gyorsabbá tételéhez. A mai viszonyokhoz képest is nagy teljesítményű gépek a publikációk nyilvántartását és gyors visszakeresését segítették. A 30-as évekig visszamenőleg tudtak cikkeket előkeresni.

A konferencia idején többször ülésezett az ICNDT és az ECNDT, a roncsolásmentes anyagvizsgálók nemzetközi szervezetei. Többek között eldöntötték, hogy a 7. ECNDT 1998. május 26–27-én lesz Koppenhágában.

Ugyancsak megbeszélést tartott az INSIGHT nevű roncsolásmentes anyagvizsgáló szakmai lap szerkesztősége, amely bővítette a munkatársak körét. Az évente négy európai szám színvonalának emelésére létrehozták az „European Advisory Panel”-t, ahová Fücsök Ferencet a magyar szakemberek képviselőjeként meghívták.

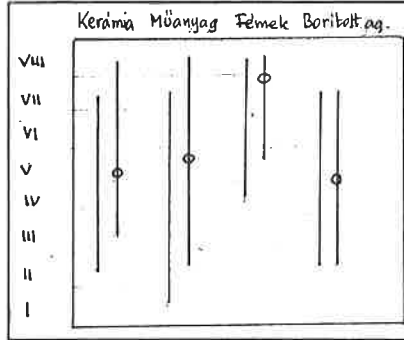
A konferencia szakmai munkája

A gyorsan változó világunkban kibontakozott „új technikai forradalom” nyomán új anyagok és technológiák jelentek meg az iparban.

A különleges tulajdonságú, nagy szilárdságú acélok és fémötvözetek szerkezeti anyagként való felhasználása ma már számos iparágban megszokottá vált. Ugyancsak megnőtt és folyamatosan növekszik a szerepük a különböző nemfém és összetett (kompozit) anyagokban is.

A karlsruhei Fraunhofer Technológiai és Innovációs Kutatóintézet egy 1994-ben megjelent tanulmányában [1] a fejlesztés alatt álló különböző nagy teljesítményű anyagok jelenlegi (1993-as) és jövőbeni (2000-es) státuszát vizsgálta. A prognózisuk alapján mutatjuk be a 2. ábrát, amelyben az intézet által vizsgált 11 féle anyagból négyet emeltünk ki; ezek a kerámiák, műanyagok, fémötvözetek és a felületi bevont, borított anyagok.

Az ábrában az egyes anyagok alatti vonal-párokból a baloldali vonal az 1993-as évre vonatkozik, a jobboldali a 2000. évre előre jelzett státuszt jelenti. A vonalra rajzolt kör a legvaló-



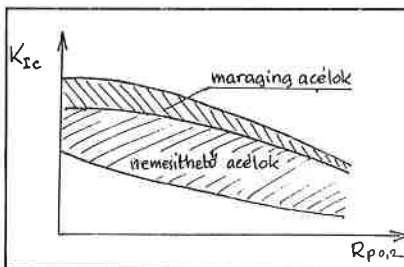
2. ábra. Fejlesztések állása

színűbb állapotot jelzi. A függőleges tengely a kutatás-fejlesztési szinteket mutatja a következők szerint:

- I. a kutatás kezdete
- II. előrehaladott kutatás
- III. első prototípus bemutatása
- IV. gazdasági technológiai transzfer problémák feltárása
- V. visszacsatolások
- VI. új alkalmazási területek feltárása
- VII. kereskedelmi bevezetés
- VIII. folyamatos piaci értékesítés

Az ábrából látható, hogy a fémanyagok esetében a kutatás – fejlesztési folyamat súlypontja a 21. század küszöbén már a folyamatos piaci értékesítésre helyeződik, más szóval általános elterjedésük lesz a jellemző. Ezen anyagok aktuális, a felhasználás szempontjából mértékadó tulajdonságai a maiakhoz képest várhatóan többszörösen jobbakká lesznek.

Az iparban ma is rendelkezésre állnak már nagy teljesítményű anyagok, amelyek terhelhetősége lényegesen meghaladja a szokványos szerkezeti anyagokét; egyes acéltípusok folyáshatára eléri a 1000 N/mm² értéket is. Ugyanakkor a repedésérzékenységük is nagyobb és kedvezőtlenebb a törési szívósságuk is. A 3. ábra a törési szívósságra jellemző mérőszám, a K_{IC} változását mutatja a folyáshatár $R_{p0.2}$ függvényében a nemesíthető és a kiválasztott keményedő (maraging) acélok esetében. Az ábrából jól látható, hogy a folyáshatár növekedés ezeknél az acéloknál a szívósság csökkenésével jár együtt.



3. ábra. Törési szívósság változása a folyáshatár függvényében nagy szilárdságú acéloknál.

A szerkezetek stabilitását a hibamentességük biztosítja. A mechanikailag terheltebb szerkezet legveszélyesebb hibája a repedés, amely az igénybevételtől függően törést okozhat. Ezért szükséges a kisebb törési szívóssággal rendelkező anyagokból készült szerkezetek hibamentességének nagyon gondos ellenőrzése, mert

bármilyen hiba potenciális repedéskezelési hely.

Mindezek tükrében természetes az anyagvizsgálati, és ezen belül hangsúlyos a roncsolásmentes defektoszkópiai módszerek megnövekedett szerepe a gyártási folyamatokban és később a használat során is.

Ez az igény egyrészt új vizsgálati filozófiában testesül meg a minőségbiztosítási rendszerek keretében, másrészt a vizsgálati módszerek fejlesztésének szükségességét inspirálta. Az új vizsgálati filozófiának megfelelően a defektoszkópiai módszerek már a tervezés stádiumában is „jelen vannak”, amennyiben a konstruktőrnek a tervezett roncsolásmentes vizsgálati módszerrel való vizsgálhatóságot biztosító „vizsgálatbarát” konstrukciót kell kialakítania.

A vizsgálatok a gyártási folyamat teljes egészére kiterjednek, vagyis kritikus szerkezetek esetében a kiinduló, ellenőrzött, hibamentes anyagokat minden olyan technológiai beavatkozás után, amely anyagszerkezeti változással jár (pl. alakítási műveletek, hőkezelés, hegesztés) roncsolásmentes vizsgálatot elvégznek – ez a vizsgálatnak a gyártás során való illeszkedését kívánja meg –, és lehetőleg azonnali kiértékelést végeznek.

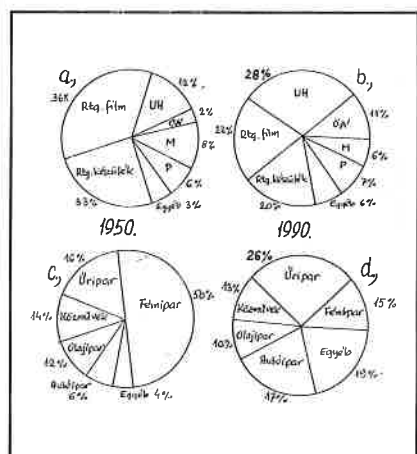
Végül, de nem utolsósorban, a roncsolásmentes módszerek olyan komplex vizsgálati rendszerekbe épülnek be, amelyek a kész, már működő szerkezetek vizsgálatával képet adnak a szerkezet aktuális állapotáról.

Mindezek a gondolatok jól érzékelhetően jelentek meg a 6. ECNDT-n.

Az előzőekből világos a roncsolásmentes vizsgálatnak mind mennyiségileg, mint minőségileg növekvő szerepe a gyártás és a felhasználás területén egyaránt.

A vizsgálóberendezések mennyiségének növekedése az Egyesült Államokban az 1992–1998 időszakban az előrejelzések szerint [2], évente mintegy 5%-osra becsülhető; ezen belül a radiográfiai eszközök mennyiségének az átlagosnál kissé lassúbb, a repedésvizsgálatra alkalmas eljárások eszközei mennyiségének gyorsabb növekedése várható.

Ezzel együtt a vizsgálati eljárások bizonyos átstrukturálódása következik be, mint ahogyan az 1. ábrán bemutatott, a 6. ECNDT keretében



4. ábra. Rm-technológiák világpiaci részesedése eljárások szerint a) az 1950-es és b) az 1990-es években, valamint felhasznált szektorok szerint c) az 1950-es és d) az 1990-es években.

publikált anyagok eljárások szerinti megoszlásából is látható.

Hasonló gondolatokat tett közzé C. D. Wells egy 1994-ben megjelent tanulmányában [3]. Ennek nyomán mutatjuk be a 4/a ábrán a roncsolásmentes eljárások világpiaci megoszlását az 1950-es években, míg a 4/b ábra ugyanezt tartalmazza, de az 1990-es évekre vonatkozóan.

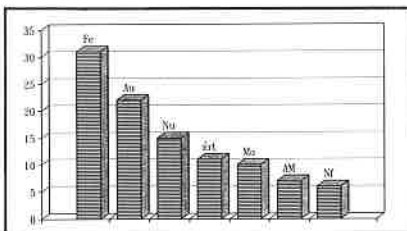
Fontos és tanulságos információt jelent a felhasználók szerinti változás vizsgálata is. A 4/c ábrán a roncsolásmentes vizsgálatok felhasználói szektorok szerinti megoszlása látható az 50-es években, a 4/d ábrán pedig az 1990-es évekre jellemző struktúrát mutatja be.

A tendencia egyértelmű mind a vizsgálati eljárások alkalmazási arányainak átstrukturálásában, mind a felhasználási szektorok részesedésének változásában.

Nehéz, vagy talán lehetetlen is átfogó képet adni arról a 312 előadásról, ami elhangzott a négy nap alatt. A meglátogatott előadások, a poszterek előtt lezajlott konzultációkból és a kiadvány áttanulmányozásából kialakult egy szubjektív kép. Ennek alapján válogattunk, vállalva a szubjektivitás kockázatát.

Ultraszhangos vizsgálatok

Mint az 1. ábrán látható, ebből a témából volt a legtöbb cikk. Talán ezért is érdemes a 114 db előadás témáit tovább bontani. A 5. ábrán látható csoportosítás is tartalmaz szubjektív megítélést. A fejlesztések, újszerű alkalmazások csoportjába sorolt előadásokból például többet más esetleg nem ide sorolt volna. Vagy a nukleáris ipari alkalmazásáról szóló cikkek döntő többsége automatizálásról is szól.



5. ábra. Az ultraszhangos cikkek téma szerinti felosztása

FE – Fejlesztések; Au – Automatizálás; Nu – Nukleárisipari alkalmazások; Ért – Értékelési problémák; Mo – Modellkészítő számítógéppel; AM – Akusztikus mikroszkóp; Nf – Nagyfrekvenciás ultrahang alkalmazása

A fejlesztések, újszerű alkalmazások példaként bemutatjuk azokat a cikkeket, amelyek a változtatható szögű, ferde besugárzású vizsgálófejekkel foglalkoznak.

A változtatható besugárzási szög már régi ötlet. Több évtizedes megvalósításai is léteznek, melyek hengeres plexire ragasztott rezgőből és a forgatható hengerhez csatlakoztatott plexi ékből álltak. Számottevő előnye ellenére a mozgó elemekből álló vizsgálófej a gyakorlatban nem tudott elterjedni.

A régi ötlet akkor kezdett újjáéledni, amikor sikerült a hangszög lengetését elektronikus vezérelni. Ezt a több darabból álló, polikristályos rezgőkkel lehet megvalósítani. A Skóciában több mint tíz éve megvalósított fejjel már üzemi tapasztalatok is rendelkezésre állnak [4].

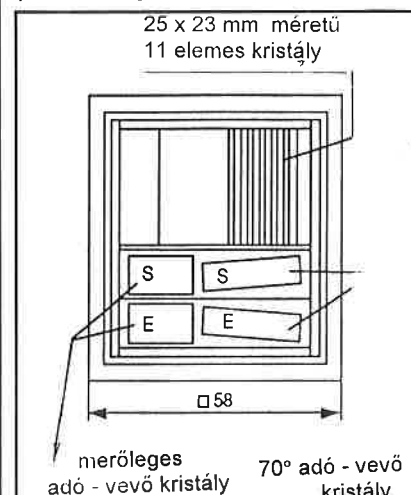
A VAP (Variable Angle Ultrasonic Probe = változtatható szögű ultraszhangos vizsgálófej) 30°–72° közötti tartományban 8 lépésben tudja változtatni a besugárzási szögét. Nincs benne mozgó alkatrész, a több elemből álló rezgő részeknek különböző mértékű gerjesztését elektronikus vezérléssel valósítják meg. Egyszerű átkapcsoló változtatja a szöget, úgy, hogy a hangszög kilépési pontja mindig ugyanott marad. A fej méretei, megbízhatósága, transzverzális hullámformája mind a régi, egyszögű vizsgálófejre emlékeztetnek. Még az is, hogy az általánosan használt ultraszhangos készülékekhez csatlakoztatható.

Kétféle üzemmódban használják: folyamatos gyűjtés ugyanabban az előre megválasztott szögben, vagy 8 törési szögű sorozat gyors egymás után.

Előnye között első helyre kerül, hogy kézi vizsgálathoz hozzátételezve a felére csökken a vizsgálati idő, azzal, hogy mindig ugyanazt a fejet használja. Bonyolult vizsgálati darabok esetén előfordul, hogy olyan helyeket is vizsgálhatunk, ahová egyébként nem tudnánk besugározni. Ilyen feladatok esetén hasznos támogatást ad egy számítógép, amelyik optimalizálja a törési szög választását a fejpozíció függvényében.

Távvezérelt, automatikus rendszerekben a VAP-fejek csökkentik a mozgatható tömeget, az úgynevezett hasznos terhet. Ezáltal a mozgató mechanizmus is egyszerűbb, könnyebb és pontosabb lesz. Egy fej csatlakozását mindig jobban meg lehet oldani, mint egy fejcsoporthat, ezzel a megbízhatóságot és a precizitást sikerül növelni. Ilyen alkalmazások esetén általában egy többszörös rendszerhez kapcsolják, mert a gép szempontjából mindegyik törési szög úgy tűnik, mintha különálló fej lenne. A nukleáris reaktorokban és tengeri fúrótoronyokon végzett vizsgálatok tapasztalatai szerint az egyszerűbb manipulátor minimális felkészítési idő után gyorsabb vizsgálatot tesz lehetővé, mert sokkal kevesebb pásztázó mozgás kell. A tapasztalatok igazolták azt a feltevést, hogy a fejek impulzus visszhang módszerrel, és kellő vezérléssel tandem módszerrel is működnek.

Németországban az említett előnyöket úgy használják ki, hogy hibrid fejeket építenek, amelyekbe merőleges és 70°-os adó – vevő [5] kris-

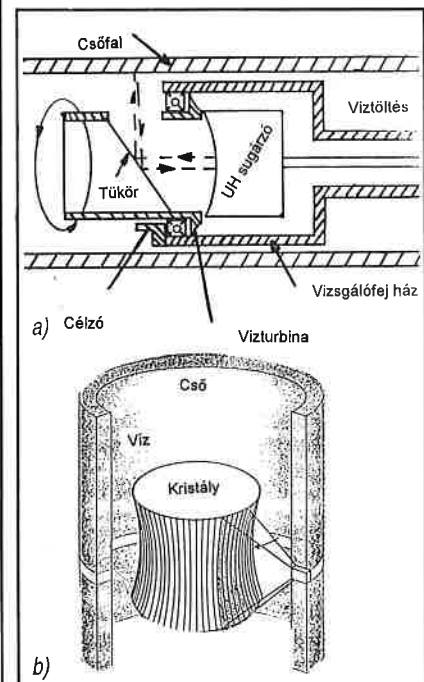


6. ábra. Hibrid vizsgálófej kristályelrendezése

tályokat és egy változtatható szögű kristályt is beépítettek.

A 6. ábrán bemutatott elrendezés 58x58x44 mm-es házban elfér. A rezgő 40° és 75° közötti 1°-os lépésekkel tudja a besugárzott transzverzális hangnyaláb törési szögét változtatni. Ezzel a fejjel vizsgálhatóak az olyan varratok is, amelyek mellett nincs elég hely a normális fejből álló fejcsoporthoz mozgathatóságához. Ezen kívül a platírozásban lévő hibák és az elválások vizsgálata is alkalmas a beépített állandó szögű adó-vevő kristályok segítségével. A fent ismertetett előnyök itt is igazak, csak ezt a vizsgálófejet már természetesen nem lehet egy hagyományos készülékhez kapcsolni. A vizsgálófej alkalmazásának előnye csak egy megfelelő értékkel szoftver segítségével mutatkozik meg.

Az alkalmazási példák közé kívánczik a kis átmérőjű csövek belső ultraszhangos vizsgálatára fejlesztett két hasonló módszer. Az egyik alapelve a 7. a. ábrán figyelhető meg, ahol a fókuszált ultrahangot előállító rezgőről a hangot egy forgó tükrrel vetítik a csőfalra. A csatlakozást és forgatást vízzel biztosítják. Egyszerűbb kialakítást tesz lehetővé a 7. b. ábrán látható rezgő kialakítás, mert nem kell forgó alkatrész. A jelek értékeléséről nem szól az információ.



7. ábra. Kis átmérőjű csőfal vizsgálata

a) forgó fejjel
b) különleges hangszögűvel

Még egy példa a fejlesztésekre: a francia kutatók olyan vizsgálófejeket hoztak létre, melyeknek nincs közeltér és meghatározott fókusz távolsága. A vizsgálófej hangterében nem egynemű a hangnyomás és az érzékenység. A fejlesztés célja az volt, hogy a különböző hibák fajtájának meghatározásánál növeljék a módszer megbízhatóságát. Kifejlesztették a csak síkhullámú PWO, (Plane Wave Only), és a csak élhullámú EWO fejeket (Edge Wave Only). A PWO-fejek jobbak a hiba hely- és típus-meghatározásában mint a konvencionális fejek. Az EWO-vizsgálófejeknek nagyon hosszú, egyen-

letes fókuszirtományja van a régiekhez képest, de az érzékenysége gyengébb.

Az automatizálás egyik legfontosabb eleme a mozgó mechanizmus. A mechanizmusok, vagy egyes esetekben már robotoknak nevezett szerkezetek széles választéka volt az előadások témája és a kiállítások büszkesége. Természetesen a vezérlésük számítógépekkel történik, és gyártói szerint $\pm 0,1$ mm a helymeghatározásuk pontossága. Mivel mindegyik berendezés egy bizonyos célra készült, igazságtalan lenne bármelyik kiemelése.

A Panametrics robotját azért ismertetjük mégis, mert a robotok legjelentősebb tulajdonságát, a taníthatóságot hozzá az ultrahangos vizsgáló automaták tulajdonságai közé. A fejmozgó mechanizmus görbe felületek pásztázását tudja megoldani úgy, hogy öt szabadságfokú mozgásra képes. Ha átsugárzások módszerrel akarunk görbe felületeket vizsgálni, akkor két fejet kell egymással szemben pontosan mozgatni. Ezt is képes a rendszer megvalósítani, mert ekkor 10 szabadságfokú mozgást vezérel. A mozgás pontossága $\pm 0,2$ mm, a forgatás $\pm 0,5^\circ$.

A tanítására két út lehetséges: ha a felületet számítógépes módszerrel tervezték, a megfelelő file-formában a vezérléshez szükséges adatok átvihetők. Direkt tanításnál a felületen kell végigvezetni különféle pásztázási tervek szerint. Az így megtanult mozgásokat tetszőleges irányokban reprodukálja a sorozatvizsgálatok közben.

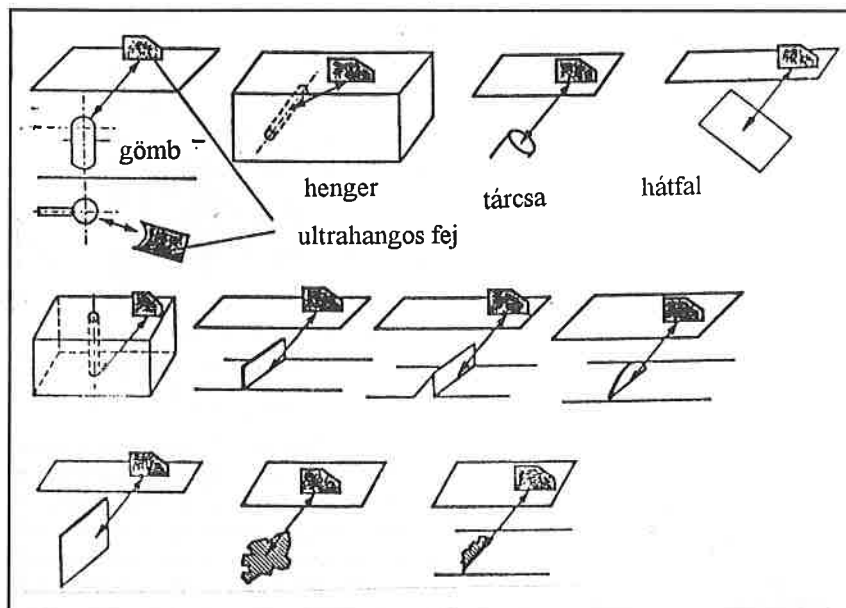
Az értékelési problémák bemutatására talán a legjobb példa, hogy a [8] cikkben a teszt-reflektorok megválasztásával kapcsolatos problémákról szólnak a szerzők. A hitelesítésekhez használt mesterséges reflektorok típusait a 8. ábrán mutatjuk be. A legfelső sorban az idealizált formájú reflektorok láthatók, melyek a rávetített hangenergiát visszaverik. A második sorban a

Ha a főbb típusokat áttekintjük kiderül, nem alaptalan az állandó vita a technológiai fejlesztések között, hogy milyen típusú teszt-reflektor alkalmaznak a berendezések teljesítménymérésére vagy hitelesítésére. Sok cikk található, amely leírja az egyes mesterséges reflektor típusok előnyeit és hátrányait.

A nyugat-európai országokban nemrég befejeződött PISC-program is felvetette ezt a kérdést. Választ természetesen most sem találtak, csak azt a megállapítást tehetjük, hogy gondos mérlegelés szükséges a teszt-reflektorok kiválasztásához. A választott reflektor pedig csak egyfajta teljesítmény mérésére alkalmas. Ha berendezések vagy technológiák összehasonlítását akarjuk elvégezni, akkor pedig mindegyiket azonos reflektorokon kell minősíteni.

A számítógépes modellezés teljesítményességét a [9] cikkkel mutathatjuk be. A berlini BAM-ban elvégzett programfuttatás azt vizsgálta, hogy az anyag tulajdonságainak változásával, például a szemcsék anizotrópiájával hogyan változik a hangtér. A 9. ábra (zsellő) ad az eredményekből. A 9. a ábra egy fókuszálatlan hangteret mutat be kvázi – izotróp acélban 2 MHz-es 3 μ s impulzus hosszúságú hang esetén. A 9. b. ábra ugyanezt a hangot mutatja, de 30 mm távolságra fókuszáltan. A 9. c. ábrán láthatjuk a fókuszált hangtér torzulását az ausztenites acél erős anizotrópikus szemcséinek hatására. A számítás nem öncélú, mert többelmeles rezgőkristály esetén, az eredmények alapján, úgy gerjeszthetjük a vizsgálófejet, hogy a hangtér optimális legyen a vizsgálatához. Természetesen ehhez ismerni kell a vizsgálandó anyag szerkezetét.

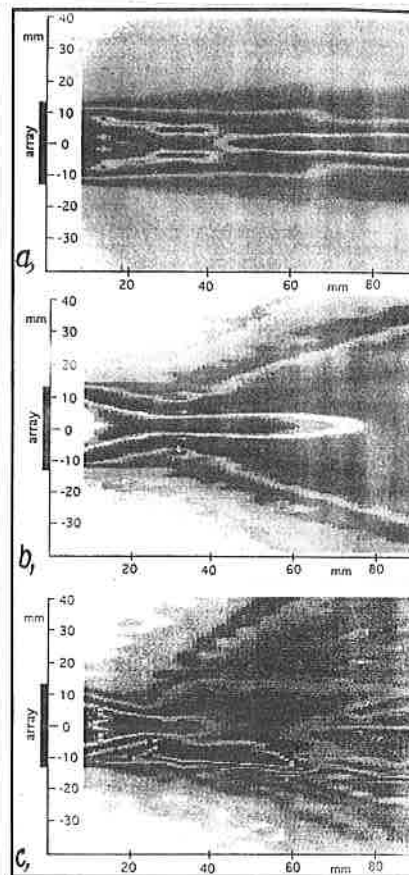
Az akusztikus mikroszkópok nagy jövő előtt állnak. Véleményünk szerint a közeljövőben várható ipari elterjedésük. A laboratóriumi környezetben már bevált berendezések alapelve a 10. ábrán látható. A vízben fókuszált hangtér merőlegesen (1 hangsugár) és ferdén (2 hang-



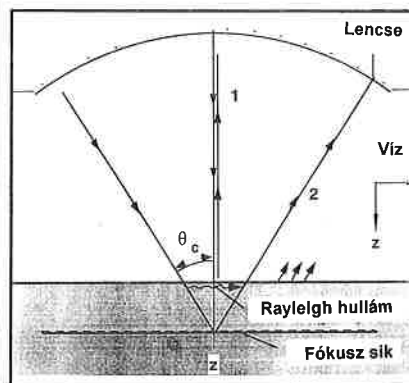
8. ábra. A hitelesítő reflektorok típusai

sarokhatást alkalmazó merőleges szögűkörre, a harmadik sorban a repedés típusú teszt-reflektorokra láthatók példák. Ezeken a mesterséges hibákon a hangenergia nem csak visszaverődik, hanem törik is.

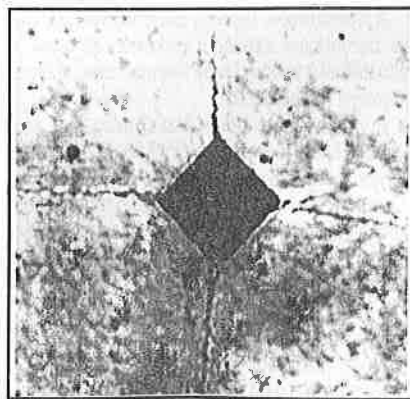
sugár) is érkezik a vizsgált felületre. A kritikus θ_c szögben érkező hang úgy tör, hogy a felületen Rayleigh-hullám alakul ki. Ezzel a hullámmal a felület alatt néhány tízed mm mélységben is lehet vizsgálni.



9. ábra. Számítógéppel modellezett hangtér és torzulása



10. ábra. Akusztikus mikroszkóp alapelve



11. ábra. AIN kerámia vizsgálata 400 MHz-es akusztikus mikroszkóppal

Az ELSAM típusú scanning akusztikus mikroszkóp 100 MHz – 2 GHz rezgéstartományban dolgozik [10]. A rezgő ZnO film, aminek hangját zafír lencsével fókuszálják és vízcseppel csatolják a felületre. Példaképpen egy AlN kerámia Vickers keménységmérésének lenyomatát mutatjuk be a 11. ábrán. A kép 400 MHz frekvenciával készült, teljes szélessége 440 μm , a kerámia keménysége HV = 1100. Jellemző, hogy 1 GHz hangfrekvenciával vizsgálva a kép 88 μm szélességűre is nagyítható, és még nem lesz üres a nagyítás. Az ábrán jól megfigyelhető a lenyomat sarkaiból kiinduló repedések.

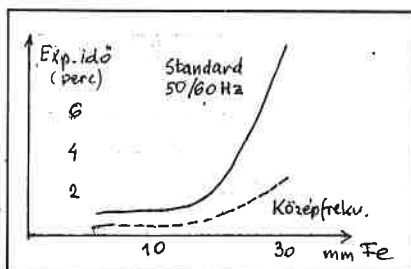
Pusztán a cikk terjedelme miatt is megszakítjuk az ultrahangos újdonságok ismertetését, hogy más módszerek is sorra kerülhessenek.

Röntgen- és gamma-radiográfia

Mint a bevezetőből is kitűnt, a hagyományos röntgenvizsgálatok részaránya ugyan világszerte csökkent az elmúlt években, ennek ellenére ezen a területen is folyamatos fejlődés tapasztalható. Ez vonatkozik a készülékekre, az anyagokra és a kiértékelést elősegítő szoftverekre egyaránt.

Készülékek

A röntgenkészülékek terén alapvető újdonságok nem születtek, azonban feltűnő volt a közép-, illetve nagyfrekvenciás készülékek térnyerése, amelyekkel jó hatások mellett rövid idejű expozíciós idők érhetők el, különösen a nagyobb átvilágított falvastagságok esetében (12. ábra).



12. ábra. Expoziációs idő a hagyományos és a középfrekvenciás röntgenkészülékek esetében.

Ugyancsak jellemző a magasan stabilizált egyenáramú nagyfeszültségű generátorok használata, valamint a kis méretű, robusztus fémkerámia-csővek alkalmazása. A vezérlőberendezések modern teljesítmény-elektronikája helyettesíti a hagyományos szabályozó transzformátort.

A mikroprocesszoros vezérlés a közvetlenül beadható vizsgálati paraméterek mellett egy sor automatikus szabályozást is lehetővé tesz a felvételi programtól az állandó teljesítmény-leadáson át az előre beprogramozható – akár százfajta – megvilágítási feladatig. Megjelentek az univerzális dialóg kiszolgáló modulok, amelyek csatlakoztathatók bármilyen röntgenkészülékhez és beépíthetők akár az automatikus röntgen-felügyeleti rendszerbe.

Mindezeknek köszönhetően a készülékek mérete és súlya jelentősen csökkent, a kezelésük egyszerűbbé és biztonságosabbá vált, mi-

közben nagymértékben bővült a szolgáltatásaik köre.

A gamma-radiográfia eszközeinél hasonló látványos változás nem fedezhető fel, noha ezen a téren is jelentős előrelépések történtek. Az izotóptartókkal szemben a követelmények szigorodtak. Ma már a gamma-radiográfiai készülékeknél is megkívánunk olyan önellenőrző biztonsági funkciókat, amelyek még durva kezelői hiba esetén is kizárják a rossz működést.

Általános követelmény, hogy a készülékek feleljenek meg az ISO 3991 nemzetközi szabványnak, továbbá adott esetben a francia AF-NOR, az amerikai ANSI, az angol BSI vagy a német DIN nemzeti szabványelőírásoknak is. Egy korszerű izotóptartó esetében a tartó automatikusan zár és a sugárforrást biztonsággal leárnyékolja abban a pillanatban, amint a sugárforrás visszaérkezett a tartóba. Az illetéktelen használat elleni védelmet kulcs nélküli biztonsági zár biztosítja. Ugyanakkor az is kívánatos, hogy a tartóból bármikor egyértelműen megállapítható legyen, hogy a sugárforrás a biztonságos pozícióban van-e.

A gamma-radiográfiában az 1994-es év jelentős dátumnak számít. Ekkor vezették be a szelén-75 (Se-75) izotóp ipari használatát. A Se-75 kiváló tulajdonságokkal rendelkezik a gamma-radiográfia szempontjából:

- kiváló kontraszt a filmekben, különösen a 4–30 mm falvastagságú tartományban sokkal kontrasztosabb képet ad, mint az Ir-192. Ezen belül a 8–10 mm falvastagságig a Se-75-el készített radiogramok minősége a röntgenfelvételekével összemérhető.
- a film érzékenysége a Se-75 sugárzás számára nagyobb, mint az irídium esetében,
- a Se felezési ideje 118,5 nap, használata ezért gazdaságos,
- csak kis árnyékolás és kis biztonsági terület szükséges; egyszerűbb a sugárvédelem megoldása.

A Se izotóp számára fontos alkalmazási területnek látszik a csővezetékek vizsgálata önálló csőgörénybe beépítve a sugárforrást.

Filmek

A radiográfiában a film minősége, tulajdonságai meghatározó tényezőként befolyásolják a vizsgálati eredményeket. Minthogy az emulziókészítés technológiája befolyásolja a filmgrádnest, és a képkötést, kiértékelést zavaró hatásokat is, továbbá mivel a zavarások is függnek a film érzékenységétől, olyan kutatás-fejlesztési programokon dolgoztak, és termékfejlesztést hajtottak végre, amely egy adott érzékenység esetében a képmínőség lehető legjobb szintjét garantálja.

Képfeldolgozás

A radiográfiában ma is fontos szerepe van a hegesztések vizsgálatában az erőműveknél és a nagy ipari szerkezetek esetében is.

A felvételeken rejlő információkat minél alaposabb és pontosabb kihasználását, az archiválás és a radiogramok kezelésének megkönnyítését szolgálják különböző képfeldolgozó módszerek. Nagy felbontóképességű scanner eljárásokkal a röntgenfelvételeket digitalizálják a hiba detektálás, analízis, dokumentálás céljából. A digitalizált kép elektronikus módszerekkel

kezelhető, a kiértékelést alkalmas szoftverek segítik.

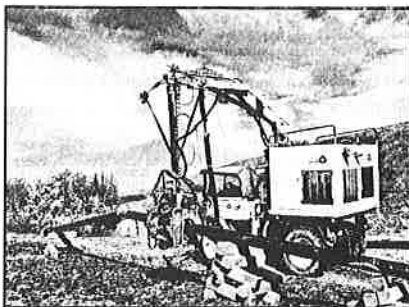
Az ECNDT-n több képfeldolgozási eljárás is bemutatásra került. Egy ilyen módszert ismertett egy olasz kutatócsoport [11]. A kidolgozott eljárás alapeleme egy speciális lézer filmscanner (ALASCA = Advanced LAsER SCanner). A létrehozott képet egy alkalmas szoftver kezeli és továbbítja egy merev lemezre. Eközben a kezelő a képjellemzőket interaktív módon beavatkozva meg tudja változtatni: lehetősége van a fényesség real-time szabályozására, a kontraszt változtatására, a nagyítás mértékének beállítására; szűrést alkalmazhat stb. Ilyen módon még olyan finom repedések is felfedezhetők, amelyek a hagyományos értékelés esetén rejtve maradnának.

Az orvosi gyakorlatban már régebb óta elterjedt a képek háromdimenziós megjelenítése számítógéppel kapcsolt tomográfia (CT) végzett vizsgálatok eredményeképpen. Az ipari radiográfiában is alkalmazási területeket keres ez a módszer. Egy amerikai kutatócsoport számolt be a CT-eljárás ipari kerámiák vizsgálatánál való felhasználásáról [12]. A közlemény szerint a CT-módszer segítségével a kerámiákban 10 μm nagyságú hibák kimutatása is lehetséges.

Speciális vizsgáló berendezések

Az ECNDT keretében számos új, többségben radioszkópiai berendezés került bemutatásra. Ezek egy része egycélú, csak bizonyos meghatározott feladat elvégzésére készített speciális berendezés, másik részük szélesebb körben alkalmazható többfeladatos szerkezet. A következőkben a választékból példaként két speciális berendezést mutatunk be röviden.

Az első példa egy terepi csővezeték építése real-time röntgen vizsgálatához kifejlesztett robot (13. ábra). Ez egy önjáró szerkezet. A varrat megközelítését és a beállítást a kezelő kézi vezérléssel végzi, a továbbiakban a vizsgálat távvezérléssel megy végbe. A vizsgálóegység sugárforrásból és vele együttmozgó érzékelő rendszerből áll. A sugárforrás és az érzékelő a gépre vannak szerelve: a sugárforrás max. 160 kV-os stabilizált egyenfeszültségű, mikrofókuszus (0,4 mm) röntgencső; a detektor egy fluoreszcens ernyő (r 80 mm) és egy nagy érzékenységű tv-kamera együttese.



13. ábra. Csővizsgáló robot

A vizsgálóegység körbejárva a csővön kettős falon át készíti a „felvétel”-t, amelyet a rendszer digitalizálva merev lemezre továbbít. A lemezen több, mint 6000 képernyő képet lehet tárolni, ami több mint 2000 db 10x14 cm-es röntgenfilmnek felel meg.

Vizsgálati paraméterek:

vizsgálható cső	$\varnothing 6" \div 8"$
falvastagság	$2,5 < s < 10 \text{ mm}$
hőmérséklet	$-10^\circ\text{C} \div +50^\circ\text{C}$
teljesítmény	$>80 \text{ db hegesztés/nap}$

A gép a talajszint alatt 400 mm mélységig tud dolgozni. A berendezést egy személy kezeli.

A vizsgáló rendszer előnyei:

- jobb kontraszt a hagyományos filmes módszerhez képest,
- azonnali kiértékelés,
- nagymennyiségű adat tárolható,
- alacsonyabb ár (összehasonlítva a filmes módszerrel)
- egyszerűbb sugárvédelem.

A második példa a nukleáris fűtőrudak automatizált vizsgálatára szolgáló röntgenberendezés. A fűtőelemek minőségének ellenőrzése alapvető biztonsági követelmény a fűtőrudak előállításának valamennyi fázisában. Az ellenőrzés feladata a fűtőoszlop állapotának és a fűtőrudakban elhelyezett tabletták integritásának ellenőrzése.

A tablettákat a betöltés előtt darabonként ellenőrzik méret, geometria, fajsúly szerint és vizsgálják a hibamentességüket is. A tabletták betárolása a fűtőcsövekbe vibrációs módszerrel történik, ezután a csöveket hermetikusan tömítik, lezárják. Betöltés után ismét ellenőrizni kell, hogy a tabletták nem sérültek-e meg, nincsenek-e közöttük repedések, széttört darabok, nem keletkeztek-e lyukak, hézagok a tabletták között. A fűtőrudak hagyományos ellenőrzése manuális röntgenvizsgálati módszerrel, szakaszos felvételek készítésével történik.

A Philips cég kifejlesztett egy új radioscopiai vizsgáló berendezést, amellyel 9 db fűtőrud egyidejű folyamatos vizsgálata végezhető el, úgy, hogy a kezelő sugárvédett fülkéből irányítja a vizsgálatot. A sugárforrás stabilizált 30 kV-os röntgenberendezés. A rendszer a „megfelel”-„selejt” válogatást is elvégzi.

Neutronradiográfia

A hagyományos sugárforrásokkal működő eljárásokat ismertető közlemények mellett figyelmet érdemel a neutronsugárzásokkal végzett vizsgálatokról készített beszámoló vizszo nyilag nagy száma (16 db).

A neutronradiográfiát már jó ideje mint a jövő vizsgálati eljárását emlegetik, ennek ellenére mégis csak kis részét képezik még ma is a roncsolásmentes vizsgálati technikáknak (pl. alumínium korróziójának vizsgálata, kompozitok vizsgálata).

Ennek alapvetően két oka van:

- a hordozható neutronforrások hiánya
- új ipari alkalmazások hiánya, illetve azok lehetséges szűk köre.

A módszerek az Európai Unió országaiban ma elfoglalt helyzetéről átfogó ismertetést ad J. F. W. Markgraf [13]. A tanulmány alapján a fő alkalmazási területek az EU-ban:

- repülő- és járműiparban, az űrtechnikában az alumínium, a szendvicsszerkezetek és a kompozitok, valamint pirotechnikai anyagok vizsgálata,
- olajipari szektorban a kétfázisú folyadékok vizsgálata,
- nukleáris iparban a fűtő- és szabályozó rudak vizsgálata,

- szerkezetépítésben a vasbeton anyagok és borított vasbeton szerkezetek vizsgálata,
- anyagtudomány és kutatás területén fémek, műanyagok, kerámiák és kompozitok vizsgálata.

A neutronsugárzással statikus jelenségek és dinamikus folyamatok is vizsgálhatók. Az eljárás fontosságát jó érzékelteti hogy eddig már négy világkonferenciát rendeztek meg ebben a témában (1981, San Diego, 1986, Paris, 1989, Osa-ka, 1992, San Francisco).

Felületi vizsgálatok

Amint arra már a bevezetőben utaltunk, egyes korszerű, nagy szilárdságú szerkezeti anyagok esetében fokozott figyelmet kell fordítani a felületi hibákra. A felületvizsgálat hagyományos módszerei a vizuális és a penetrációs vizsgálatok. Ezekkel kapcsolatban a 6. ECNDT sok újdonsággal nem szolgált, legfeljebb a korszerű, környezetet kevésbé szennyező vizsgálati anyagok kifejlesztése figyelemreméltó esemény, ez azonban a vizsgálati technológiákra nincs befolyással.

A belső, nagy nehezen hozzáférhető felületek vizsgálatára már régóta rendszeresen használt endoszkópok megfelelő eszközök; a video-endoszkópos rendszerek pedig lehetővé teszik az észlelések eltárolását, a vizsgálati eredmények archiválását, éppúgy mint a vizsgálat során létrehozott képek színes monitoron való megjelenítését, vagy egy-egy részlet kinagyítását az alaposabb vizsgálódás érdekében.

A video-endoszkópia sokoldalúsága nagy reményekre jogosít a jövőbeni alkalmazásokat illetően. A fejlesztéseknek köszönhetően már ma is lehetséges van a vizsgálati eredmények, a nyert képek nagy távolságra való továbbítására műhold, vagy telefax útján is. Az elektronikában jelenleg is folyó miniatürizáció eredményeként könnyen hordozható, még kisebb méretű és súlyú készülékek jelennek meg a jövőben.

Korszerű hardver eszközökkel kombinálva a video-endoszkópia más módon nem vizsgálható szerkezetek felügyelete válik lehetségessé. Meggyőző alkalmazásra mutat be példát egy csúcstechnológiát képviselő önjáró, távvezérelt, vagy programozható, automatikusan működő, speciális csőben járó szerkezetbe épített video-endoszkóp rendszer, amely 500 m-es távolságig képes tetszőleges vezetésű, akár függőleges csövek belső felületének vizsgálatát elvégezni. A CCD kamera által létrehozott képet a kezelő a vezérlő szekrénybe épített színes monitoron látja. Ily módon a korróziós károsodások, vagy egyéb sérülések felfedezhetőek.

Különleges vizsgálati módszerek

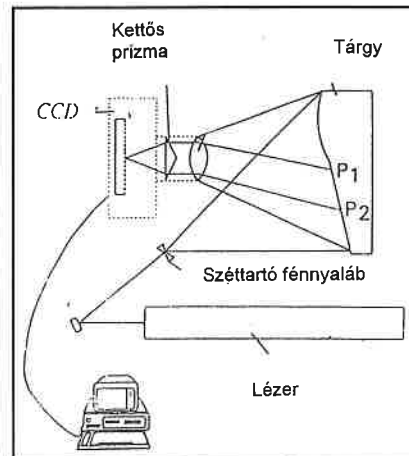
Végezetül két, a defektoszkópiái vizsgálati gyakorlatban ma még nem általánosnak számító módszer: a termográfia és a shearográfia.

Az infravörös sugárzással dolgozó **termográfia** (IRT) széles körben alkalmazott eljárás hőszivárgások detektálására (épületek, szerkezetek vizsgálata), az elektronikai iparban (elektromos kontaktusok ellenőrzése), a gépiparban (állapotellenőrzésnél).

Az alkalmazási lehetőségek felső szintjét jelenti az olyan hőképkalkáló rendszer, amelynél beépített szoftver teszi lehetővé gyors hőfokváltozással járó transziens folyamatok real-time vizsgálatát.

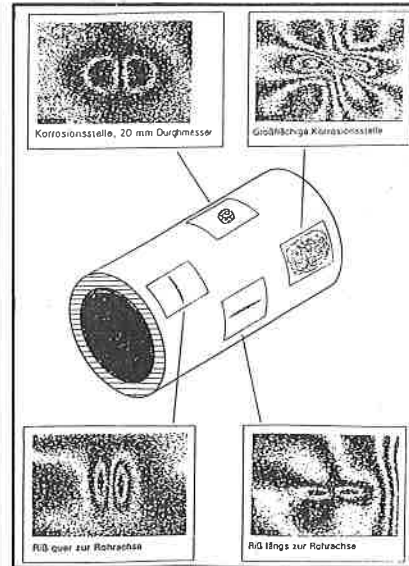
A skála másik végén a kis méretű kézi „kamera” található, amellyel könnyedén végig lehet pásztázni nagy felületeket a „hideg” vagy „meleg” pontok megkeresése érdekében. Tipikus műszaki alkalmazási terület ebből a szempontból a kompozit anyagokból felépített szendvicsszerkezetekben a víz-bezáródások megállapítása.

A **shearográfia** interferometrikus mérést jelent; kompozitok, műanyagok, borított anyagok, fémek vizsgálatára alkalmas eljárás. Segítségével az anyagban lévő zárványok, korróziós elválások, repedések vizsgálhatók. A vizsgálati tárgy felületét lézerrel megvilágítva a felület egyenletességét megbontó hibák, deformációk nyomán kialakuló „interferencia” jelenség teszi lehetővé a detektálást. A vizsgálat általános elrendezési vázlata a 14. ábrán látható.



14. ábra. Lézer shearográfia általános elrendezési vázlata.

A. Ettermayer-M. Honlet az eljárás gyakorlati alkalmazására mutat be példákat [14]. Érdekes alkalmazási terület pl. a gépkocsik műszerfalának anyagában elhelyezkedő gáz-zárvány



15. ábra. Példák shearográfus vizsgálatokra.

kimutatása. A műszerfalra tűző napsugárzás hatására erősen felmelegedett anyagában a bezáródott gáz a nyomásnövekedés miatt helyi kismértékű deformációt okoz, ami hagyományosan csak tapintással érzékelhető, ezzel a módszerrel azonban jól megvizsgálható.

Fontos terület a repülőgépiparban a méhsejt szerkezeti elemek vizsgálata. A vizsgálható elemet infravörös lámpával melegítik, vibrálják; a hiba tipikus felületi deformációt okoz, ami az interferenciaképen világosan látszik kettős (pozitív és negatív) indikáció formájában.

Felhasználható az eljárás pl. csövek belső korróziójának kimutatására. A nyomás alatti cső külső felületén a korrózió miatt lecsökkent falvastagság következtében észre nem vehető kismértékű helyi deformáció keletkezik. A shearográfia segítségével a falvastagság 15%-ig terjedő károsodása már kimutatható. A [14]-ben közölt adatok szerint a vizsgálható csőméretek: 100–400 mm és 4–8 mm falvastagság. Jellemzőes shearográfiai képeket mutat a 15. ábra.

Összefoglalás

Megállapítható, hogy az új anyagok, technológiák megjelenését, a teljes minőségbiztosítási rendszer általánossá válását drámaian új defektoszkópiái célú roncsolásmentes vizsgálatok megjelenése nem követte. Néhány korábban nem, vagy csak ritkán alkalmazott módszer, mint pl. a shearográfia, egyes ipari szektorokban való térhódítása mellett átstrukturálódás következett

be a repedés jellegű hibák kimutatására alkalmas eljárások javára.

A vizsgálati technológiák finomodtak, jelentős változások történtek hardver oldalán. A készülékek mérete csökkent, kezelésük komfortja, szolgáltatásaik száma és minősége nőtt, komplex vizsgálóberendezések, vizsgáló automatakat fejlesztettek.

A számítástechnika gyakorlatilag minden eljárás esetében jelen van, a kiértékelést elősegítő szoftverek a korábbiaknál nagyobb pontosságú és érzékenyebb hibadetektálást tesznek lehetővé.

Végezetül megállapíthatjuk, hogy bár óriási a fejlődés és sok az automatikus vizsgáló rendszer, a roncsolásmentes vizsgáló szakemberre egyre nagyobb szükség van, hogy a hatalmas mennyiségű információ között kiismerje magát, és döntést hozzon.

Irodalom

- [1] Euro Materials (Weinheim, Germany) 1/1994. 13. old.
- [2] Manufacturing Engineering 1993. márc.
- [3] C. D. Wells: The Commercial Role of NDT on the Context of a Changing World. INSIGHT. Vol. 36. N° 5 pp. 334–341.
- [4] F. S. Hancock: The Variable Angle Ultrasonic Probe from Concept to Application, 6th. ECNDT Conferences and Posters 175–176. old.
- [5] A. Erhard, H. Wüstenberg, E. Fischer, W. Rathgeb: Ultrasonic Hybrid – Phased – Array – Probe for Weld Inspection at the BWR Pressure Vessel,

6th. ECNDT Conferences and Posters ECNDT 613–617. old.

- [6] Daniel De Vadder, Alain Lhémy: Traducteurs ultrasonores sans champ proche on sans distance focale. 6th. ECNDT Conferences and Posters 7–11. old.
- [7] Dr. Jennifer, E. Michaels, Dr. Thomas E. Michaels: Requirements and Capabilities of Automated Ultrasonic Systems for Inspection of Curved Parts 6th. ECNDT Conferences and Posters 201–205. old.
- [8] H. Wüstenberg, A. Erhard: Problems with Artificial Test Reflectors at the Performance Demonstration of Ultrasonic Inspections. 6th. ECNDT Conferences and Posters 741–746. old.
- [9] R. Boehm, A. Erhard, H. Wüstenberg: Sound Field Distribution in a Simulated Poly-crystal. 6th. ECNDT Conferences and Posters 13–17. old.
- [10] F. Berger: Ultrasonic Microscopy of Vickers Hardness Indentations... 6th. ECNDT Conferences and Posters 87–91. old.
- [11] G. Cherubini–A. Landoni–R. Piccini–D. Zuccola: Integrated System for Digitisation, Interactive Processing, Presentation and Storage of Film Supported Industrial Radiography Images. 6th. ECNDT Conferences and Posters 231–236. old.
- [12] C. R. Smith–I. Zmora–A. Ezis: Dual Energy Micro CT as a Ceramic Process Control Technique. 6th. ECNDT Conferences and Posters 677–683. old.
- [13] J. F. W. Markgraf: Neutron Radiography Within the European Community States. 6th. ECNDT Conferences and Posters 1037–1041. old.
- [14] A. Ettermayer–M. Honlet: Nondestructive Testing with Laser Shearography. 6th. ECNDT Conferences and Posters 293–296. old.

952 043 003/135

A roncsolásmentes anyagvizsgálat fejlesztése az állapotellenőrzés számára

Dr. Rittinger János*

Bevezetés

A roncsolásmentes vizsgálatok területén a következő fejlesztési irányok tapinthatók ki:

A hibák hegesztett szerkezetekre gyakorolt hatásának számszerűsítése (a törésmechanika gyakorlati alkalmazása) nyomán előtérbe került a síkszerű hibákat megbízhatóan kimutató eljárások (pl. ultrahangos) alkalmazása, a felületre nyitott (vagy felület közeli) síkszerű hibák veszélyesebbek, mint a felület alatti síkszerű hibák, ezért felértékelődött az örvényáramos, mágneses, penetrációs vizsgálatok jelentősége. A törés (károsodás) szempontjából a helyi feszültségek meghatározóak. Ezért fontos az alakhibák (éleltolódás, ovalítás stb.) mértékének ellenőrzése. A követelmények oldaláról ez a változás követhető nyomon az MSZ EN 25817 szabvány előírásaiban.

A szerkezetek gyártásának minőségbiztosítási rendszere, az üzemelő szerkezetek állapotellenőrzése egyaránt megköveteli a dokumentált minőséget, illetve a dokumentált állapotot. Ebből következik a roncsolásmentes vizsgálati eredmények rögzítése. Ez látványos eredményhez vezetett az ultrahangos, az örvényáramos és az endoszkópos vizsgálat területén. Ma már számos területen elemi követelmény a roncsolásmentes anyagvizsgálat gyártó sorba illesztése.

lásmentes anyagvizsgálat gyártó sorba illesztése.

Az anyagvizsgálat területén a humán tényező szerepe jelentős, és a jövőt tekintve sem csökken. Ezzel függ össze a roncsolásmentes anyagvizsgálók képzési rendszerének nemzetközi szabályozása (MSZ EN 473), illetve a roncsolásmentes anyagvizsgálók rendszeres továbbképzése, valamint a 3. fokozatú tanúsítással rendelkező szakemberek, szakmai teljesítményének 5 évenkénti önellőrzése.

Az eszközfajlesztés további célja a kezelő személy tehermentesítése. Az ember-gép kapcsolat javítása megnyilvánul a készülékek tömegének, a kezelő szervek számának csökkentésében stb. Ezek a törekvések a kezelő személy fizikai terhelésének csökkentésére, és nem a személy szerepének kiiktatásának irányulnak.

A röviden felvázolt fejlődési irányok kifejezésre jutnak a komplex vizsgálati rendszerek kifejlesztésébe [1]. A következőkben néhány példát ismertetünk jelentős részben megvalósult, illetve fejlesztés alatt lévő rendszereinkből.

Komplex vizsgáló rendszerek

Az állapotellenőrzés alapja az egymást követő vizsgálatok eredményeinek megbízható

összehasonlítása és az egységnyi időre vonatkoztatott változásokból a maradé élettartamra, illetve a szerkezet megbízhatóságára vonatkozó becslés megtétele. Ennek érdekében a laboratórium komplex vizsgáló rendszereket hoz létre, és folyamatosan fejleszti azokat. A komplex vizsgáló rendszereinkből példát az 1. ábra ismertet. A teljesség igénye nélkül a rendszerről:

A szerkezetek jellegzetes elemeinek és hegesztett kötéseinek roncsolásos (DEC) vizsgálata során elemezni kell a roncsolásmentes és a roncsolásos (DAC) vizsgálatok során feltárt hibák egyezését. Meg kell határozni a leggyakrabban előforduló hibák helyét és valódi méretét. Kellő számú mérési eredmény birtokában lehetőség van a hibák eloszlásfüggvényének, az

$F(h) = a \cdot \exp[-b \cdot (h-h_0)]$ meghatározására. A hibák eloszlásfüggvényének küszöbértéke (h_0).

Az egyes roncsolásmentes vizsgálati módszerek érzékenysége is egy függvénnyel (észlelhetőségi függvény) írható le:

$$h_e = C_0 + C_1 \cdot h_m + C_2$$

ahol C_0 és C_1 regressziós állandók és C_2 a kalibrációs hiba!

A h_0 és a h_e érték kapcsolatba kell hogy legyen egymással. A C_2 tényező megismerése a megfelelő kalibráló módszer kiválasztására hívja fel a figyelmet.

* Erőkar Rt. Anyagvizsgáló és Állapotellenőrző Laboratórium