Anyagvizsgálók Lapja
2023/II. lapszám

Beavatkozásmentes állapotfigyeléstől a roncsolásmentes anyagvizsgálatokig

From non-intrusive condition monitoring to non-destructive material testing

Pór Gábor

Dunaújvárosi Egyetem, professor emeritus, porg@uniduna.hu

Kulcsszavak
szekvenciális valószínűségi hányados teszt, akusztikus emisszió, pásztázó ultrahangos mikroszkóp, elektromágneses akusztikus távadó

Absztrakt

Ez a cikk néhány gépállapot megfigyelés módszert mutat be, amelyek az elmúlt időszakban hasznosnak bizonyultak az ipar különböző területein, és várhatóan a közeljövő eszköztárát jelentik. Ilyenek például: a mérhető jelek fluktuációján alapuló állapotvizsgálati módszerek; az áramlással sodort tárgyak ritkának mondható felkoppanásának észlelése zajos környezetben, valamint értékelése autoregressziós szűrésük utáni szekvenciális valószínűségi hányados teszt alkalmazásával; a pásztázó akusztikus mikroszkóp fejlesztése; és az EMAT ultrahangos módszerek bevezetése anizotrópiák vizsgálatára hengerelt lemezekben.

Keywords
sequential probability ratio test, acoustic emission, scanning acoustic microscope, electromagnetic acoustic transducer

Abstract

We present some successfully applied machine conditioning methods from our experience. Examples include: using sequential probability ration test for detecting rare events buried in background noise, namely detecting knocks from foreign object in a stream on the wall; developing and using scanning acoustic (ultrasonic) microscope; and application of electromagnetic acoustic transducer for birefringence.

1. Bevezetés

Érthető igénye a berendezések üzemeltetőinek, hogy szeretnék tudni milyen állapotban van az általuk üzemeltetett berendezés attól az időponttól kezdve, hogy először beindítják, végig a hosszú üzemeltetés során egészen a végső leállításig. Nem szeretjük a meglepetéseket sem, amikor váratlanul áll le a gép, amikor váratlanul megy tönkre egy alkatrész. Szükségünk van olyan eljárásokra, mérésekre, amelyek megbízható módon jelzik a berendezés működésének hibáit, tönkremenetelüket jóval az előtt, mielőtt még a váratlan leállás vagy tönkremenetel bekövetkezne, amikor még egyes elemek cseréjével, vagy megfelelő beállításokkal megelőzhetjük a bajt.

Az, hogy ilyen módszerek léteznek, már régóta sejtettük vagy tudni véltük. Az akusztikus zajokat már igen korán használták diagnosztikára. Már az őserdőben is a zörejek felismerése figyelmeztetett a veszélyekre. Akik akusztikus emisszióban (AE) érdekeltek, azok tudják az AE történetéből, hogy már az ókorban megfigyelték a fémöntésnél és a kerámia készítésénél a pattogásokat és következtettek a termék minőségére [1]. De mindenki tudja: a kenetlen kocsikerék vagy az autó motorjának megváltozott hangja figyelmeztet a kezdődő meghibásodásra. A faág recsegése pedig már lényegében AE anyagvizsgálat, a kezdődő tönkremenetel, a repedés növekedésének hangja.

Ezektől a jól hallható megfigyelésektől eljutottunk a mai korszerű állapotmegfigyelő rendszerekig és roncsolásmentes anyagvizsgáló eszközökig. Új és új módszerek, eszközök jelennek meg szinte naponta. Ezek fejlesztésében hazai szakemberek is részt vettek. Ilyen módszerek fejlesztéséből szemezgetünk ebben a cikkben.

Vegyük észre, hogy a fejlődés lehetőségét a tudomány és technika rohamos fejlődése hozta létre a XX. század végére. Korábban sem a módszerek terén nem tartottunk azon a szinten, hogy a mérhető zajokból és a zajokból alig kibújó jelekből következtetéseket vonjunk le, mivel nem voltak olyan távadóink és jelátviteli elektronikáink, valamint módszereink, amelyek a zavaró háttérzajból ki tudták volna emelni a számunkra fontos információkat. A digitális korszak pedig számtalan matematikai módszer ipari bevezethetőségét teremtette meg.

2. A berendezés mérhető paramétereinek fluktuációira alapozott állapotfigyelések

A berendezések hagyományos vizsgálati technikája a bemenetre adott erős változásra, mint gerjesztésre adott válaszjel értékelésén alapul. Az irányítástechnikából jól ismert fekete doboz modellt használják a rendszer válaszfüggvényinek megismerésére, feltérképezésére, még pedig olyan módon, hogy a bemenetnek kiszemelt mérhető paramétert egy nagy amplitúdóval dinamikusan gerjesztik, és mérik a többi mérhető mennyiség, paraméter válaszjelét. A gerjesztésre előszeretettel alkalmazzák az ugrásfüggvényt és az impulzus függvényt (utóbbit néha négyszögjel alakjában). A hirtelen ugrás biztosítja a szélessávú gerjesztést. Hagyományosan nagy amplitúdókkal gerjesztettek és gerjesztenek, mivel ezzel a jel/zaj viszony még magas frekvenciáknál is jó. Azonban, ha belegondolunk, akkor a jelentős, több száz voltos vagy több tízfokos hőmérséklet ugrások kibillentik a munkapontjából a berendezést, és tulajdonképpen, nem is normál állapotban mérjük a választ, nem a munkaponton vizsgáljuk berendezésünket. Ennél jobb lehetőség nyílik, ha a fluktuációkból indulunk ki. Azon jelek között, melyek között van átvitel, a véletlenszerű kis ingadozások (zajok) is ugyanolyan összefüggést mutatnak, mert ez a rendszer lényege, hogy a különböző paramétereket összekapcsolja a rendszerre jellemző módon [2]. Ha megmérjük tehát Fourier technikával a jelek közötti átviteleket, fázisokat, koherenciákat, ok-okozati összefüggéseket (elsősorban a frekvencia térben), akkor ugyanazokra az összefüggésekre bukkanunk és ugyanúgy észrevehetjük a rendszerünkben bekövetkezett változásokat, mintha hagyományos gerjesztést alkalmaznánk [3]. Ennek jó példája az impulzus válaszfüggvény zajok útján történő meghatározása.

Ha a mért bemenő jel sztochasztikus, azaz véletlen

ingadozása $f_b(t)$, a (kimenő) válaszjel ingadozása $f_k(t)$, akkor Fourier transzformációjuk után:

$$F(\omega) = FFT(f(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt, \quad (1)$$

$$APSD(\omega)\omega = < F_b(\omega) F_b^{+}(\omega)\omega >, \quad (2)$$

$$CPSD(\omega)_{bk} = < F(\omega)_b F(\omega)_k^{+} >, \quad (3)$$

$$Impulse.response(t) = InverseFFT\left(\frac{CPSD(\omega)_{bk}}{APSD(\omega)_b}\right). \quad (4)$$

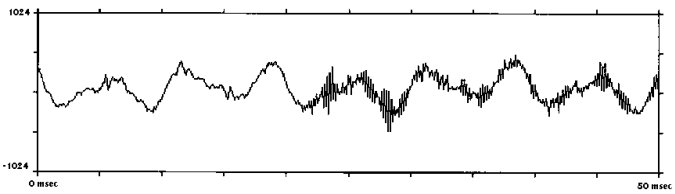
Tehát az impulzusra adott választ úgy is megkaphatjuk, hogy a fluktuációs, azaz zajjelekből képezzük az autospektrumot (APSD) és a keresztspektrumot (CPSD), majd ezek hányadosából inverz Fourier transzformációval olyan választ kapunk, amely a végtelen keskeny impulzusra adott válasz. Ráadásul mivel nagyon kis fluktuációkról van szó, amivel nem zökkentjük ki a rendszert a munkapontból, a berendezés normál állapotában határozzuk meg a mérhető paraméterek közötti átviteleket, és ezzel a berendezés állapotát. Ez új távlatokat nyit a berendezések mérhető paramétereinek zajmérésén alapuló állapotmegfigyelésében. Persze semmi nincs ingyen! A jobb eredményért a mérési idővel fizetünk, mivel a sztochasztikus jelek esetében csak várható érték értelemben kapjuk a paramétereket, tehát hosszú idejű átlagolásra van szükségünk.

3. Akusztikus zaj megfigyelésére alapított berendezés diagnosztikák

3.1 Idegen testek észlelése szekvenciális valószínűségi hányados teszttel

Olyan ipari berendezésekben, ahol jelentős tömegáramok vannak, igen fontos az olyan, viszonylag ritka események észlelése nagy háttérzajban, amelyek a berendezésben a folyadék áramlásával sodort fel-felütköző darabok észlelésére alkalmasak. A nagy ipari háttérzajok és a viszonylag ritkás felkoppanások megnehezítik ezek idejekorán történő észlelését, ezért azok hosszú távon fejthetik ki koptató-romboló hatásukat. Igaz ez a kavitációk okozta abráziókra is. Atomerőművekben már igen elterjedten alkalmazzák az ilyen idegentest megfigyelő akusztikus rendszereket [4, 5, 6]. A probléma lényege abban van, hogy a viszonylag ritka felütközési zajokat (börsztöket) nehéz észrevenni a viszonylag magas háttérzajokban. A hagyományos küszöbszintekkel történő operálás általában nem szokott segíteni, mivel a háttérzajok amplitúdója igen magas (lásd 1.sz. ábrát).

Igaz, az ipari háttérzajok többsége alacsony frekvenciájú



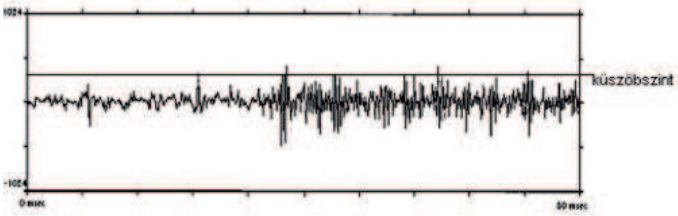
1. ábra: Egy felkoppanás (börszt) a magas, alacsonyfrekvenciás háttérzajon

és a felütközések által kiváltott börsztnek nevezett gyorsan felfutó és kicsit lassabban lecsengő oszcilláló jellegű rövid időjelek sokkal magasabb frekvencia tartalmúak, ezért részben egy felüláteresztő szűrővel is eltávolíthatók a háttérzajok többsége, de messze nem tökéletesen. Jó szűréshez inkább autoregressziós (AR) szűrőt érdemes használni. Ez úgy történik, hogy a mért és mintavételezett értékekre $x_1, x_2, \ldots, x_N$ egy AR modellt illesztünk:

$$x_k = \sum_{i=1}^{P} a_i \cdot x_{k-i} + w_k, \quad (5)$$

ahol w_k független fehér zaj, P a modell rendje, és a_i az ún. AR együttható. Ez a modell a saját korlátai között leírja a mért folyamatot. Annak hosszú irodalma van, hogyan lehet az AR együtthatókat meghatározni a mérésből. Ha sikerült egy olyan időszakaszra illeszteni a modellt, ahol nincs esemény, akkor az így kapott modell felhasználható a továbbiakban a mérések „fehérítésére”.

Mivel a küszöbszinttel még így is könnyen tévedhetünk

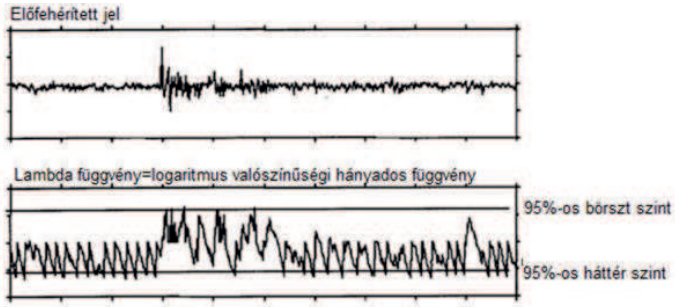


2. ábra: Autoregressziós szűrés (fehérítés) után még mindig nem lehet küszöbszinttel nagy biztonsággal megtalálni a börsztöt

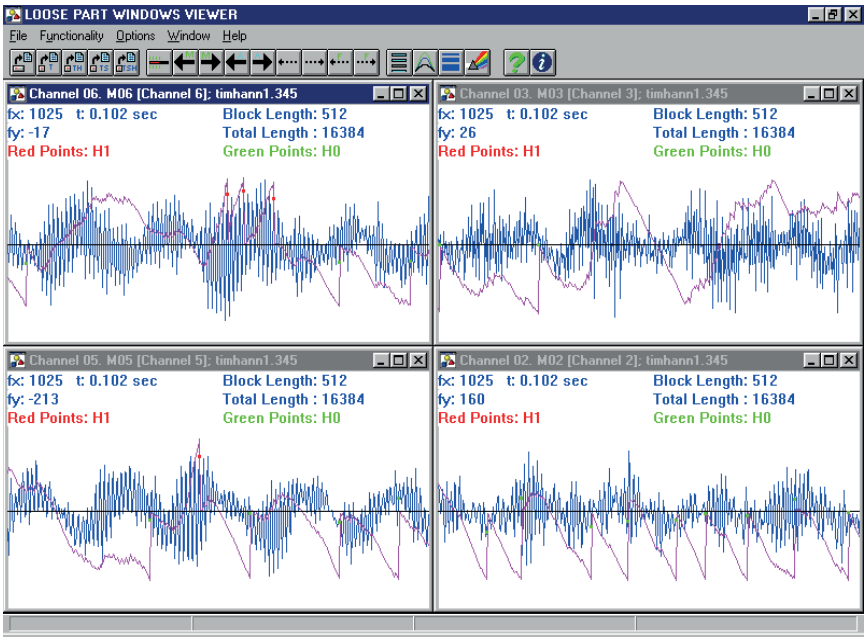
az esemény azonosításában (lásd a 2. ábrát), érdemes más módszerek után nézni. A leghatékonyabbnak a Szekvenciális Valószínűségi Hányados Teszt (SPRT) bizonyul, - ami matematikailag is bizonyított tény [7, 8]. A módszer lényege, hogy a mért jelből a mintavételezéssel kapott idősorozat részletről a szűrés után a Wald [7] által kidolgozott lambda függvény segítségével osztályozzuk, hogy a minta a háttérhez tartozó statisztikai tulajdonságokkal rendelkezik-e, vagy attól eltérő, azaz a börszt statisztikájának felel meg.

$$\lambda_N = \ln \frac{P(x_1, x_2, \ldots, x_N \mid H_1)}{P(x_1, x_2, \ldots, x_N \mid H_0)}, \quad (6)$$

ahol $P(x_1, x_2, \ldots, x_N | H_1)$ annak valószínűsége, hogy az $x_1, x_2, \ldots, x_N$ mintavételezett idősor a H_1 hipotézishez, azaz ebben az esetben a börszt statisztikai



3. ábra: A lambda függvény működése



4. ábra: *Egy valós eset atomerőművi jeleken végzett elemzés*

eloszlásfüggvényéhez tartozik, míg a $P(x_1, x_2, \ldots, x_N | H_0)$ annak a valószínűsége, hogy a mintasorozat a háttér statisztikájához illeszkedik. Tehát a lambda függvény két valószínűség hányadosának logaritmusa, ami negatív, ha a sorozat inkább a H0-hoz tartozik és pozitív, ha a sorozat inkább a H1-eloszlást követi. Ezért, ahol nincs börszt, ott fokozatosan csökkenő értékeket vesz fel a lambda függvény, míg a börszt estén növekvő tendenciát mutat (v.ö. 3. ábrával). Ráadásul matematikailag meg lehet határozni azt az értéket, ahol megadott megbízhatósággal kapjuk meg a döntést.

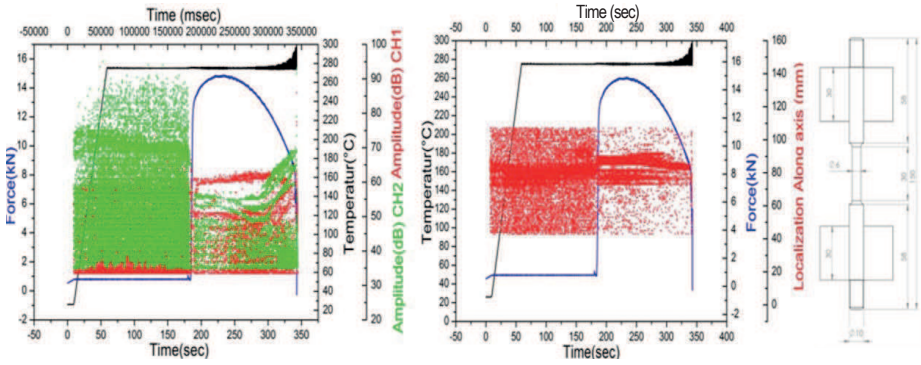
A 3. ábrán jól látható, hogy az SPRT képes döntést hozni megadott megbízhatósággal arról, hogy a mérés egy-egy szakaszának statisztikai jellemzői (eloszlásfüggvénye) melyik osztályba sorolható: a koppanás-börszt eloszlását követi (tipikusan F eloszlás), vagy a háttér (tipikusan Gauss jellegű) eloszlását követi.

Míg a 3. ábrán látható börsztöt szinte ránézésre is fel lehet ismerni a 4. ábrán egy valódi atomerőművi mérést mutatunk be. Ember legyen a talpán, aki a kék jelben egyértelműen „észleli" a zajban megbúvó börsztöket, míg a lila lambda függvény egyértelműen jelzi azokat.

Ez a módszer számos helyen alkalmazható, ahol a viszonylag magas háttérzajból kell azonosítani ritka eseményeket, amelyek statisztikája eltér a háttérzaj statisztikájától.

4. Akusztikus mérési módszerek a roncsolásmentes anyagvizsgálatokban

Két terület is van, ahol ma is széles körben használjuk az akusztikus módszereket a roncsolásmentes tesztelésekben: az akusztikus emisszió és az ultrahang. Ezeknek kiforrott eljárásrendjük és szabványokban is rögzített feltételrendszerük van. De a fejlődés nem áll meg! Nemcsak a felhasznált eszközök terén, ahol tanúi vagyunk a régi analóg műszerek digitálisra cserélésének. Ezen túl, a megszokott kézi letapogatásokat először enkóderrel ellátott lépéstávadókkal támogatták meg, majd ma már robot mozgatja a fejeket, és az eredeti nyers indikációkat (időjeleket) két- és háromdimenziós képekké rakjuk össze, szakértői rendszerekkel értékelve a képeket. A továbbiakban három területen is bemutatjuk milyen fejlesztések történtek a Dunaújvárosi Egyetemen a jövőben hasznosítandó eljárásokban. A bemutatást rövidre fogtuk terjedelmi okokból, de bőven adunk hivatkozásokat, amelyekből a részletek jól megismerhetők.



5. ábra: *Akusztikus események a Gleeble szimulátoron végzett szakításokban*

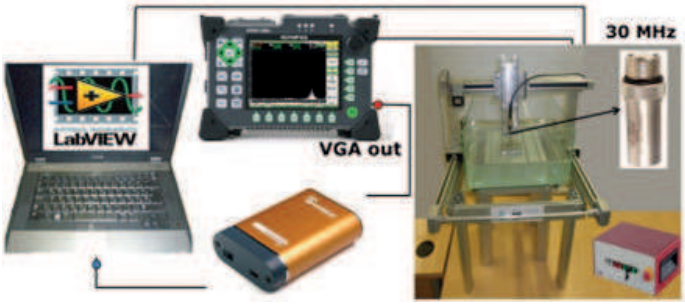
4.1 Az akusztikus emisszió felhasználása fázisátmenetek elemzésében

A 2015-17 években a TÁMOP 4.2.1 program tette lehetővé, hogy kipróbáljuk akusztikus emissziós mérési technikánkat anyagszerkezeti átalakulások közben fellépő emissziók regisztrálására. A számos publikációban bemutatott eredmények közül itt csak egyet ismétlünk meg, figyelemfelkeltés céljából. A többi részlet a hivatkozott publikációkban találhatók meg [9, 10].

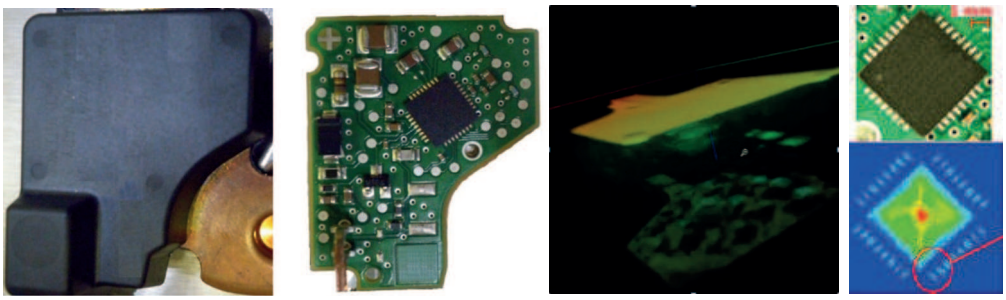
A Gleeble szimulátoron végzett hőmérséklet változtatással egybekötött szakítási próbákon egyértelműen sikerült akusztikus emissziós (AE) vagy akusztikus Barkhausen zaj (ABN) eseményeket regisztrálnunk, és megmutattuk, hogy a hőmérséklet változás hatására végbemenő martenzit és ausztenit fázisátmenetek is jellegzetes akusztikus eseményeket generálnak.

4.2 Egy új ultrahangos vizsgálati terület: a pásztázó akusztikus mikroszkóp fejlesztése

A pásztázó akusztikus mikroszkóp (SAM) lényege, hogy pontos vezérléssel, igen kis lépésekkel az x-y síkban letapogatjuk a vizsgálandó tárgy teljes felületét, minden



6. ábra: A PAMELA pásztázó akusztikus mikroszkóp, amelyet a DUE-en fejlesztettünk 2012-ben



7. ábra: Egy tokozott elektronika tokkal, annak belsejében lévő elektronika fényképe, a SAM által produkált 3D forgatható kép, amellyel a legnagyobb chipbe is belelátunk, valamint az 0,1mm-re álló lábakat is megkülönböztethetjük (piros kör).

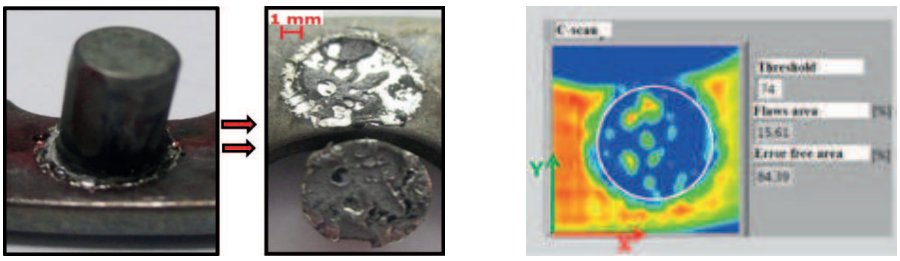
lépesben egy-egy A-képet létrehozva, ami a z-irányt jelenti (csak ennek időegység a dimenziója), majd az így nyert adatokból egy 3 dimenziós tömböt hozunk létre, amelynek akár tetszőleges 2D metszetét képezhetjük, vagy akár egy valódi 3D ábrát képezhetünk belőle, nulla intenzitást adva a kis amplitúdójú, vagy visszaverés nélküli részeknek [11]. Ily módon belelátunk az anyagba, lényegében ultrahang tomográfiát valósítunk meg. A fizika törvényeit természetesen nem haladhatjuk meg, de az igen kis lépések a pásztázásban meglepően jó felbontást eredményeznek az x-y síkban. A gyakorló ultrahangos anyagvizsgálók a merőleges fej átmérőjének felében szokták meghatározni anyagfolytonossági hiány méretének bizonytalanságát, de legalábbis a rezgő átmérőjének felében. A pásztázás akár 0,1 mm-es vagy kisebb felbontást is képes produkálni az x-y síkban, különösen, ha fókuszált immerziós (bemerítéses) fejet használunk. De még a „z" irányú felbontásban is meglepetések várnak! Az ultrahang megszokott széttartó nyalábja azt is lehetővé teszi, hogy ha van egy visszaverő felület, akkor az alatta lévő visszaverő felületekről is kapjunk legalább részleges információt, mert az ultrahang kónuszának széle alálát a szomszédos pozíciókból azokra a folytonossági hiányokra, amelyek a merőleges irányú hangsugarak esetén a felette lévő hibahely eltakar.

A 6. ábrán látható első sikeres készülékünkkel először sikerült kimutatni a gyantában lévő légbuborékokat, de a 0,1 mm-nél jobb felbontás, amire mi sem számítottunk, még elektronikán belüli felbontást is lehetővé tett (lásd 7. ábra). Még használhatóbbnak bizonyult a SAM a kis méretű csaphegesztés összeolvadásának százalékos mértékű felbontásában. Itt a hegesztés síkja előre ismert, ami megkönnyíti az értékelést. A 8. ábrán bemutatott csaphegesztés átmérője alig 6 mm, és mint látható, a SAM pontos foltokat mutat az összeolvadás mértékéről, - ahol kék ott nincs visszaverődés, jó a fúzió [11].

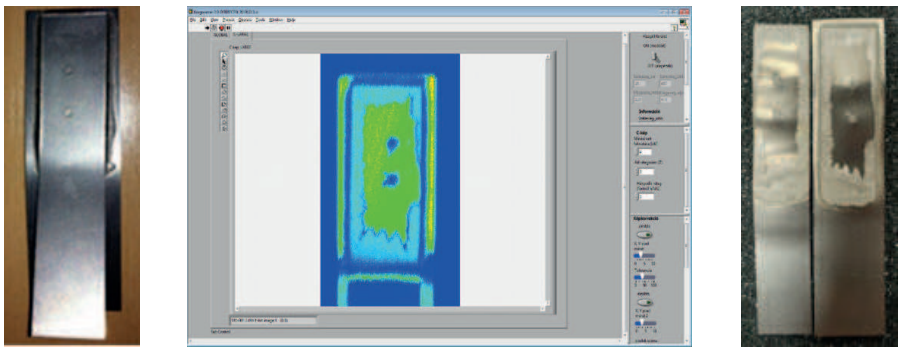
Még sikeresebbnek bizonyul a SAM a keményforrasztás minősítésében. Keményforrasztásnál a két lemezt 0,1-0,2 mm távolságra állítják be, és a keményforrasz úgy jön létre, hogy a melegítéstől megolvadó anyag kapillaritás hatására szívódik be a résbe. Ebben az esetben is ab ovo ismert, milyen magasságban kell várnunk visszaverődést, ha a beszívódás nem tökéletes és légrés marad a két fém között.

Ennek igazolását mutatja be a 9. ábra, ahol láthatjuk a keményforrasztásos mintát, annak SAM-mel képzett képét az adott szinten: zölddel látható a levegős terület. Majd, amikor kettészakítottuk, egyértelműen látható, hogy még a csipkézettség is jól képződött le SAM gépünkkel [12, 13].

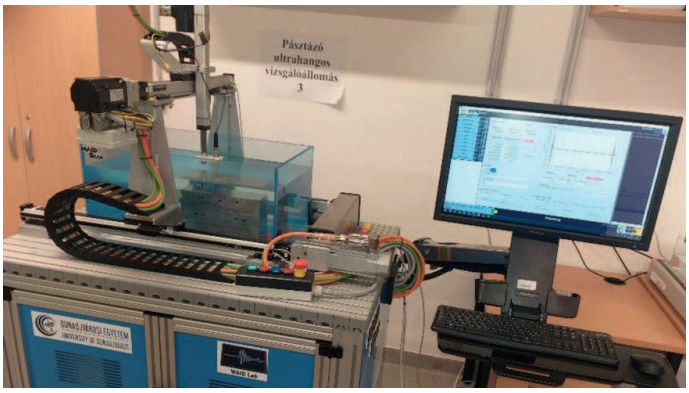
A 6. ábrán látható SAM-mel számos sikert értünk el, de be kellett látnunk, hogy ez egy laboratóriumi próba. Szükség van az ipar területén is használható, ipari minőségű SAM készülék kifejlesztésére. A NKFIH



8. ábra: Egy alig 6mm-es átmérőjű ellenállás hegesztéssel felrakott csap nem tökéletes kötése, és a SAM-mel képezett kép a kötés minőségéről %-os értékben



9. ábra: Keményforrasztott mintadarab, a SAM-mel készített képén jól látható a zöld terület, ahová már nem hatolt be a forraszanyag, és ennek igazolására a szétszakított minta



10. ábra: *A MAIDScan a DUE MAIDlabor legújabb pásztázó gépe*

támogatásával 2019-2022 között végzett pályázati kutatás során hoztuk létre a 10. ábrán látható, már az ipari szabványoknak is megfelelő, és bárki által kezelhető új SAM készüléket, amely már piacképes. Valójában ez a készülék már nem csak mikroszkóp, azaz nemcsak kisméretű tárgyakat képes befogadni és lepásztázni, de akár egy 100 x 100 x 250 mm-es vagy nagyobb tárgyat is. A nemzetközi irodalom ennél nagyobb pásztázó berendezésekről is beszámol.

4.3 Az ultrahangos vizsgálatok erősen fejlődő új területe az EMAT

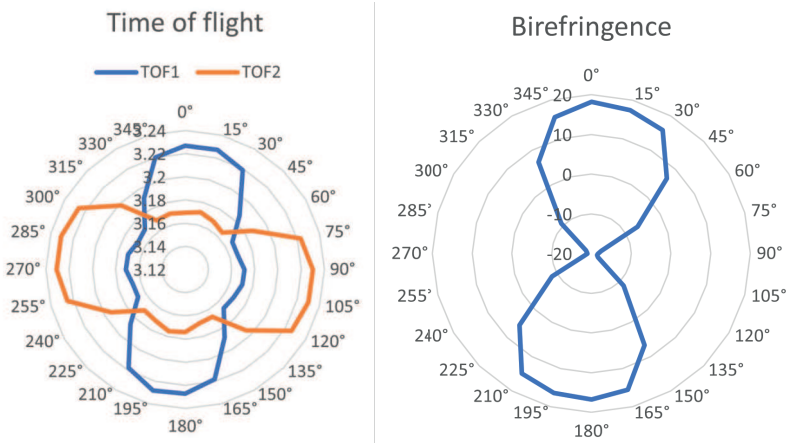
Az ultrahangos vizsgálatokhoz tartozik az ElektroMágneses Akusztikus Távadóval (EMAT) gerjesztett ultrahangos vizsgálat. Erről a reklámok miatt sokan azt gondolják, hogy a legnagyobb előnye, hogy nem kell csatolóanyag hozzá. Ennél sokkal többről van itt szó. Lényegében egy erős, állandó mágneses térben létrehozott örvényáram az, ami a Lorentz erő segítségével az ultrahangot kelti magában a vizsgálandó, vezető anyagban. Az így keletkezett ultrahang hullám az örvényáramot létrehozó tekercs és adott frekvenciájú, változó áram hatására sokféle, általunk megadható paramétereknek megfelelő ultrahang hullám lehet, akár felületi, Lamb, Rayleigh típusú hullámokat is gerjeszthetünk a választott paramétereknek megfelelően, ami a hagyományos vizsgálatokban is jól használható, például az LRUT és MRUT mérésekben. De létre tudunk hozni polarizált keresztirányú hanghullámokat is, amit egészen új lehetőségeket nyit meg az anyagvizsgálatokban.

A polarizált keresztirányú hanghullámokat például a hidegen hengerelt acéltermékek anizotrópia vizsgálatában lehet hasznosítani. Ehhez két, egymást keresztező polarizált hanghullám előállítására van szükség. Ezt megfelelően, a fóliára merőlegesen elhelyezett nyomtatott tekercsekkel állítjuk elő. Ha a két merőleges tekercset 15 fokos szögekkel lépésekben forgatjuk a lemezen, akkor a hengerlésnek megfelelő irányokban a megnyúlt krisztallitok miatt a merőleges polarizált hanghullámok különböző sebességgel terjednek, és így információt nyújtanak a lemez anizotrópiájáról.

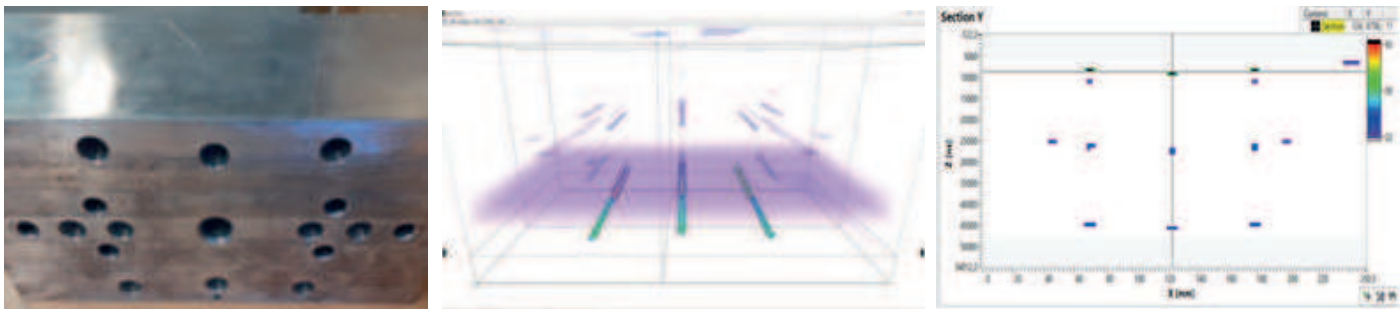
A 12. ábra baloldalán egy hengerelt acéllapban való visszaverődésekből EMAT-tal értékelt repülési időket látjuk, különböző szögirányokban elhelyezett, egymásra merőleges polarizált ultrahangot kibocsájtó tekercsekkel. Látható, hogy a polarizált ultrahang kiválasztja a hengerlés fő irányát, mert abba az irányban megnyúlt krisztallitokon a hang terjedési sebessége más, mint a merőleges irányba. A Birefrigence (kettőstörés), tulajdonképpen a két repülési idő eltérésének normalizált mennyisége:

$$\text{Birefrigence\%} = \frac{(\text{ToF}_1 - \text{ToF}_2)}{\left(\frac{\text{ToF}_1 + \text{ToF}_2}{2}\right)} \cdot 100\,. \qquad (7)$$

A 12. ábrán a birefrigence jól mutatja a hengerlés irányából következő kettőstörés irányultságát [14], és a vonatkozó irodalom szerint a belső feszültség arányos a kettőstöréssel (a birefrigence-szel) [15].



12. ábra: *A repülési idők két merőleges irányban és a belőle számolt kettőstörés %-os értéke*



11. ábra: *Egy 100x250x100 mm-es tárgy fényképe, 3D ábrája és 2D metszete(oldalnézete) az új, MAIDScan eszközzel*

5. Összegzés

A cikk apropóját a szerző által kapott 2023-as MAROVISZ díj szolgáltatta. Ezért ismertettünk néhány eredményt a Dunaújvárosi Egyetemen működő Magyar Akusztikus Ipari Diagnosztikai Laboratóriumából, részben a laboratórium bemutatása céljából, részben, mert úgy gondoltuk, ezek az eredmények gondolatébresztőek lehetnek a hasonló vizsgálatok számára. Az eredményekből jól látható, hogy forradalmian új módszerek és mérési technikák terjednek a roncsolás- és beavatkozásmentes diagnosztikák területén, amelyek a közeljövőben jól szolgálják majd a berendezések állapotdiagnosztikáját.

Köszönetnyilvánítás

A cikk tartalma a díjazott előadására és részben a tématerületen végzett munkásságára épült, de semmiképpen nem a szerző saját eredményeire, hanem egy lelkes kollektíva több mint 10 éves munkásságára. Az eredményekben közvetlenül is részt vettek: Agócs Mihály, Balász Krisztián, Csincsi Zsuzsa, Doszpod László, Gárdonyi Gábor, Kocsó Endre, Komornik Antal, Koroknai László, Molnár János, Morvai Tibor, Szabados Ottó, Szabó Péter, Szabó Szebasztián, Szikszai Kristóf, Trampus Péter. Köszönet jár külső támogatásukért: Bánki Edének, Bartos Zoltánnak, Bodolai Tamásnak, Fodor Olivérnek, Fücsök Ferencnek, Geréb Jánosnak, Kecskés Ferencnek, Krausz Gábornak, Ott Mihálynak, Paál Lászlónak, Sós Róbertnek, Szabados Ottónak, Szűcs Pálnak, Turcsik Györgynek… és még sokan másoknak, akik a MAID Laboratórium megteremtését elősegítették.

A pásztázó mikroszkóp előállítása az NKFIH-1267-2/2020 számú, Roncsolásmentes folyamatkövetés tématerület című projekt az innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Hivatkozások

[1] Szűcs P.: Az akusztikus emisszió mint szilárdtestfizikai jelenség és mint roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer, https://doksi.net/hu/get.php?lid=9482 (Megtekintés dátuma: 2023.07.29.)

[2] G. Por, O. Glöckler, U. Rindelhardt: Boiling detection in PWRS by noise measurement, Progress in Nuclear Energy, 1988, Vol. 21., pp. 555-563. https://doi.org/10.1016/0149-1970(88)90076-5

[3] T. Katona, L. Mesko, G. Por, J. Valko: Some aspects of the theory of neutron noise due to propagating disturbances, Progress in Nuclear Energy, 1982, Vol. 9., pp. 209-222. https://doi.org/10.1016/0149-1970(82)90044-0

[4] G. Szappanos, A. Fehér, J. Lörincz, L. Nemes, G. Pór, T. Csikós, O. Glódi, S. Lipcsei, T.D. Tri: A new digital expert loose part detection system; Annals of Nuclear Energy, Vol. 24, No. 14, pp. 1097-1103. (1997) https://doi.org/10.1016/S0306-4549(96)00109-0

[5] G. Szappanos, G. Por: Basics ideas and realization of completely digitized loose part detection system helps, Progress in Nuclear Energy, Vol. 34., No. 3., pp. 195-201. (1999) https://doi.org/10.1016/S0149-1970(98)00005-5

[6] G. Por, J. Kiss, I. Sorosanszki, G. Szappanos: Development of a false alarm free, Advanced Loose Parts Monitoring System (ALPS) Progress in Nuclear Energy, Vol. 43, No. 1-4., pp. 243-251. (2003) https://doi.org/10.1016/S0149-1970(03)00034-9

[7] A. Wald: Sequential Tests of Statistical Hypotheses; The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 16., No. 2., (June 1945), pp. 117–186. https://www.jstor.org/stable/2235829

[8] G. Szappanos, G. Por: Improvements in the theory of identification of burst-shaped events for fault diagnosis Nuclear Science and Engineering, Vol. 130., 1998 Issue 2, pp. 261-267. https://doi.org/10.13182/NSE98-A2005

[9] Pór Gábor, Fekete Balázs, Csicsó Gábor, Trampus Péter: Acoustic Events during Fatigue Test of Structural Steels; 31st Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE) - We.4.B.4 (2014) https://www.ndt.net/article/ewgae2014/papers/we4b4.pdf

[10] G. Por, P. Bereczki, Z. Danka, P. Trampus: Detecting Acoustic Events during Thermal and Mechanical Loading; 31st Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE) - Th.1.A.3 (2014) https://www.ndt.net/article/ewgae2014/papers/th1a3.pdf

[11] G. Por, M. Agocs, E. Kocso, B. Palotas, P. Trampus: 3D Ultrasound Imaging of Flaws, Electronics and Spot Welds; 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014). Prague, (2014); Special Issue of e-Journal of Nondestructive Testing (eJNDT), Vol. 19(12). https://www.ndt.net/events/ECNDT2014/app/content/Paper/308_Por_Rev2.pdf

[12] G. Por, M. Agócs, E. Kocsó, J. Molnar, P. Szabó, K. Szikszai, M. Szabó: Automated scanning ultrasound testing of brazing. 17th International Conference on Condition Monitoring and Asset Management, London, (2021)

[13] G. Por, M. Agocs, E. Kocso, J. Molnar: Advantages of scanning methods in NDT; First World Congress on Condition Monitoring (WCCM 2017), London, (2017. június 13-16.)

[14] O. Szabados, R. Baki, Zs. Csincsi, J. Molnar, Á. Pámer, P. Szabó, G. Por: Magneto-acoustic investigation on steel samples; IOP Conference Series Materials Science and Engineering 903(1):012040, pp. (2020) DOI:10.1088/1757-899X/903/1/012040

[15] F. Dahmani, A. W. Schmid, J. C. Lambropoulos, S. Burns: Dependence of birefringence and residual stress near laser-induced cracks in fused silica on laser fluence and on laser pulse number; Applied Optics, Vol. 37, Issue 33, pp. 7772-7784. (1998) DOI: 10.1364/ao.37.007772

A cikk **Dr. Pór Gábor**, professor emeritus, **MAROVISZ Díj idei kitüntetettjének** – a XIII. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállításon – **RAKK 2023-on elhangzott előadásának kivonata.**

Szeretnénk gratulálni az elért eredményeiért és a szakmában tett eredményes és kitartó munkájáért!

Megtiszteltetés számunkra, hogy életpályájának eredményeit ebben a cikkben lapunk jelenteti meg.