

Roncsolásmentes anyagvizsgálat elektromágneses úton keltett ultrahanggal

Tóth Ferenc*

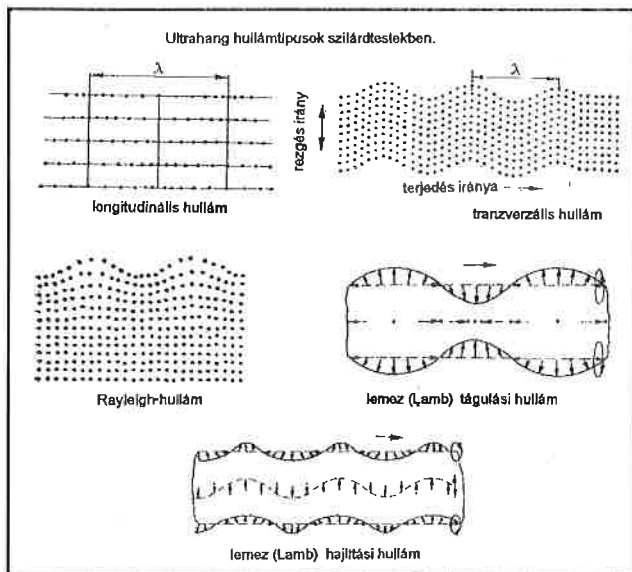
Ultrahangos anyagvizsgálat

Gépipari termékek belső hibái, méretváltozásai roncsolásmentesen ultrahang segítségével vizsgálhatók.

Piezokristállyal keltett, 1-20 MHz frekvenciájú rövid impulzusok a munkadarab közeghatárain, anyaghibáin reflektálódnak, szóródnak vagy elhajlanak. Ezek detektálásával a vastagság, a belső hibák helye, mérete meghatározható [1, 2, 3]. A reflektált, vagy szóródott jel amplitúdója a hiba méretével arányos, a gerjesztés és visszaverődés időkülönbségéből pedig – ismerve a kérdéses anyagra vonatkozó ultrahang terjedési sebességet – az anyagvastagság megadható.

Ultrahang gerjesztésére és detektálására általában piezoelektromos kristályokat használnak. Előnyük, hogy előállításuk egyszerű, érzékenyséjük nagy és ezért a mérőberendezés is aránylag olcsó.

Szilárd testekben az ultrahanggal keltett anyagrézecske-elmozdulások különböző formájú mechanikai hullámokként terjednek, ezek főbb típusai, illetve módusai (1. ábra):



1. ábra. Ultrahang hullámtípusok szilárdtestekben

- longitudinális nyomáshullám,
- transzverzális vagy nyíráshullám,
- felületi (Rayleigh) hullám,
- aszimmetrikus lemez (Lamb) hajlítási hullám és
- szimmetrikus lemez (Lamb) tágulási hullám.

Lamb-hullámok akkor keletkeznek, ha a felületi hullámok hullámhossza meghaladja a lemezvastagságot.

A transzverzális vagy nyíráshullámok polarizációja lehet horizontális, vertikális vagy sugárirányú; ilyenkor az anyagrézecskek elmozdulása merőleges a hullámmozgás irányára. Ezek terjedési sebességénél a longitudinális hullámok sebessége – amelyeknél a részecske-elmozdulások iránya egybeesik a haladási iránnyal – kb. kétszer nagyobb.

Ha az ultrahang beesési szöge az anyagban eltér a merőlegestől, különböző módus konverziók jöhetnek létre, amelyek kevert, többszörös reflexiói a vevőszondában nehezen kiértékelhető jeleket eredményeznek; ezért nagyon fontos az adott geometriájú munkadarabokhoz

az optimális gerjesztési módus megválasztása. Homogén anyag repedés jellegű hibáit többnyire ferde beesési szögű transzverzális hullámokkal keresik, de az ausztenites acél hegesztési varratainak vizsgálatakor a longitudinális gerjesztés ad esetenként jobb eredményt.

Az inhomogén, durva szemcsés anyagok, a hegesztési varratok megváltoztatják a rezgések fázisát, sebességét, ezért a sugárnyaláb iránya, futási ideje számottevően szóródik. Ezeknél a méréseknél a horizontális polarizációjú gerjesztés választása célszerű, mivel ez a módus szóródik legkevésbé. Ilyen rezgési módus ugyan polikristályokkal is keltethető, de a szükséges csatolóközeg miatt a rezgés a munkadarabra nem nagyon vihető át.

A különböző gerjesztési módusok fontosabb alkalmazási lehetőségeit (leegyszerűsített formában) az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Az ultrahang gerjesztési módusainak alkalmazásai

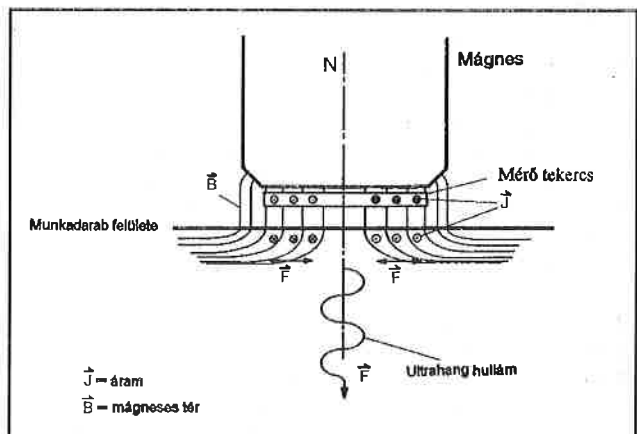
Módus:	Alkalmazások
Longitudinális	Vastagságmérés Ausztenites varratok vizsgálata Magas hőmérsékletű acélok ellenőrzése
Vertikális	Ferdeszögű hibavizsgálat
Nyíráshullám	Vékony lemezek, csövek mérése
Horizontális	Felület közeli hibadetektálás Ausztenites varratok ellenőrzése
Rayleigh	Felületi, felület közeli hibavizsgálat
Lamb	Lemez, szalag és cső falvastagságának mérése, rétegezethezesség kimutatása

Elektromágneses gerjesztéssel keltett ultrahangok (EMAT: electromagnetic-acoustic transducer)

Fémekben – statikus mágneses tér jelenlétében – nagyfrekvenciás gerjesztésű tekercs segítségével is létrehozható mechanikai vibráció. A tekercs árama által keltett elektromágneses tér (2. ábra) a közelében levő tárgyban örvényáramokat kelt és a statikus mágneses térrel együtt mechanikai erőhatás keletkezik [4, 5]. Az erőhatás nagysága az örvényáram és a mágneses indukció vektorszorzata:

$$\vec{F} = \vec{I}_w \times \vec{B}$$

ahol \vec{I}_w az örvényáram értéke, \vec{B} a mágneses indukció és \vec{F} az ún. Lorenz-erő.



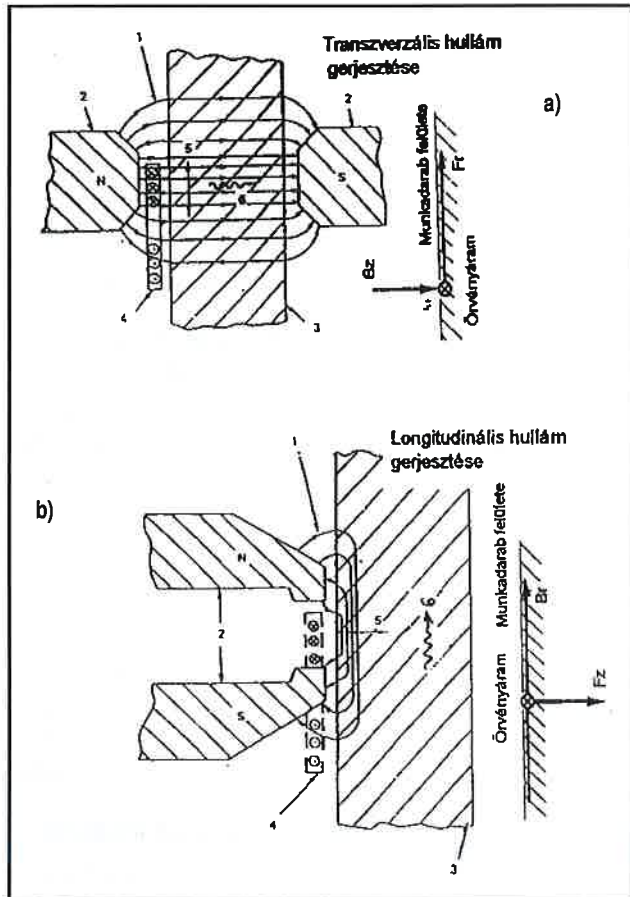
2. ábra. Ultrahangok gerjesztése elektromágnessel

* MTA KFKI Szilárdtestfizikai és Optikai Kutató Intézet

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Az anyag felületére merőleges irányú mágneses térnél a Lorenz-erő a felülettel párhuzamos és ezért transzverzális rezgéshullámokat kelt, amelynek periódus ideje megegyezik a gerjesztő elektromágneses tér periódusával (3a. ábra).

Felülettel párhuzamos sztatikus mágneses térnél kompressziós, azaz longitudinális rezgéshullámok keletkeznek (3b. ábra).



3. ábra. Ultrahang gerjesztése EMAT eljárással
1) Mágneses erővonalak, 2) Mágnes, 3) Minta, 4) Síktekerccs, 5) Anyagrészecskék elmozdulásának iránya, 6) Ultrahang terjedési iránya.

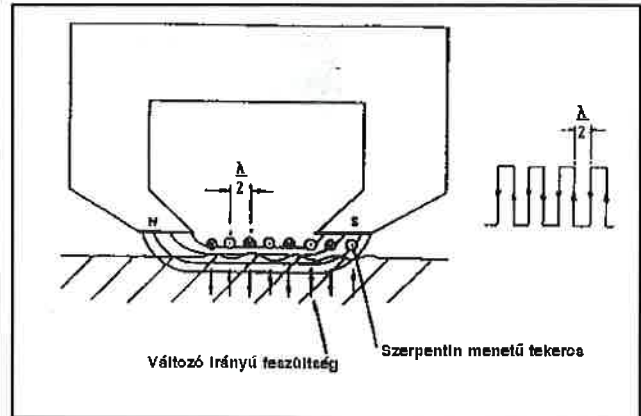
Szerpentin menetű tekercsnél a gerjesztett felületi (Lamb) rezgések hullámhossza a menetemelkedés kétszerese (4. ábra).

A jeldetektálás fordított mechanizmus alapján történik: mágneses tér jelenlétében az elmozduló anyagrészecskék a külső mérőtekercsben feszültségváltozást indukálnak, amely megfelelő erősítés után kijelzőre vihető. Az ultrahang gerjesztése és detektálása közvetlen kontaktus nélkül történik, a hibadetektálás, vastagságmérés azonban azonos a piezoelektromos metodika gyakorlatával (5. ábra).

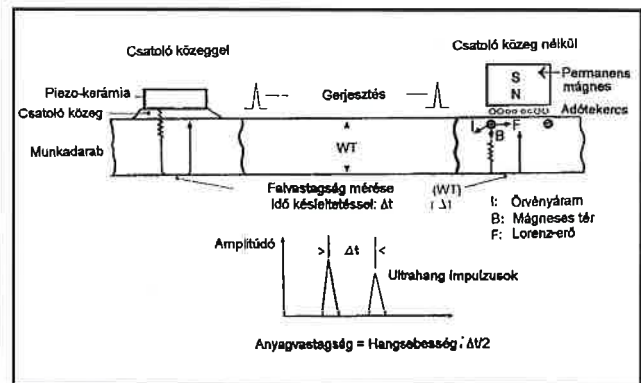
Ferromágneses anyagok nagy permeabilitása egyrészt megnöveli az anyagon belüli mágneses tér értékét, másrészt módosíthatja irányítottágát és megváltoztathatja a doménszerkezetet is. A doménmozgás méretváltozással jár; az így létrejövő méretváltozást magnetostríkciónak nevezik. A 6. ábrán nem mágnesezhető anyagban Lorenz-erővel gerjesztett Lamb-hullám, illetve ferromágneses alapanyagban magnetostríkciónal keltett Lamb-hullám típusú EMAT vázlatja látható.

Ugyanaz a vizsgálófej vagy egy másik – hasonló felépítésű – szonda detektálja a Lamb-hullámok okozta – periodikus mechanikai feszültségváltozással keltett – mágneses permeabilitás modulációt, azaz a mágneses indukció intenzitás oszcillációt.

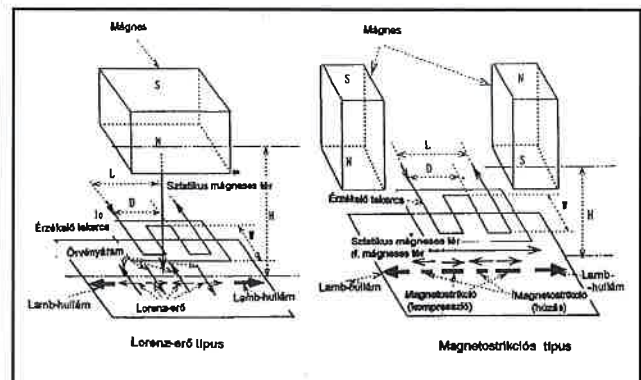
Az EMAT mérőrendszer hatásfokát az anyagjellemzőkön, az elektromos vezetőképességen, a permeabilitáson és az ultrahang csillapítási tényezőjén kívül a következő mérőkörü paraméterek is befolyásolják:



4. ábra. EMAT felületi hullám gerjesztése



5. ábra. Ultrahangos falvastagságmérés csatoló közeggel és anélkül



6. ábra. Lorenz-erő és magnetostríkciónal keltett Lamb-hullám típusú EMAT

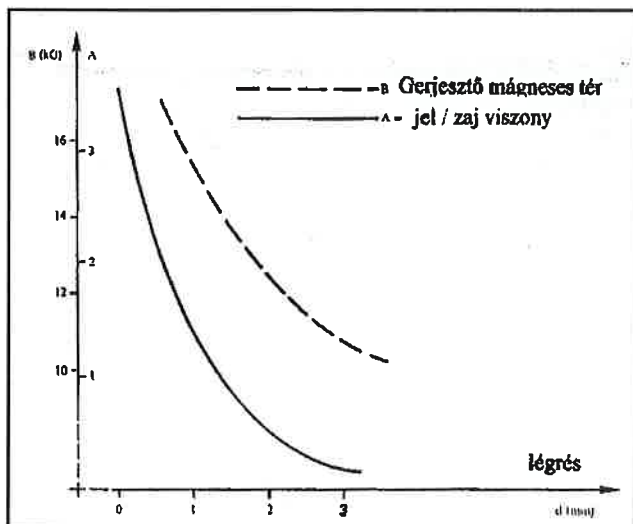
- a mágneses tér értéke,
- az örvényáramok intenzitása,
- a gerjesztő és a detektor tekercs mérete,
- a detektor tekercs menetszáma,
- a szonda és munkadarab közötti távolság.

Az EMAT detektorok érzékenysége lényegesen kisebb a piezoelektromos kristályok érzékenységénél; a jel amplitúdó $B^2 I_w$ -vel arányos (7. ábra), emiatt használnak mindig nagy sztatikus mágneses teret és nagyáramú gerjesztést [6].

Permanens vagy elektromágnessel előállított tér tipikusan 0,3-1,5 T nagyságú a váltóáramú gerjesztőtér frekvenciája a feladattól függően 500 kHz-5 MHz, 2-10 μ s hosszúságú, 50-150 A erősségű impulzus csomagokból áll.

A mérőszonda hatásterülete 2-20 cm², a szonda és munkadarab közötti légréteg 1-3 mm. Magas hőmérsékletű vizsgálatoknál (~1300 °C) a mérőfej természetesen vízűtött.

A sztatikus mágnesező tér irányítottágával, a gerjesztő tekercs

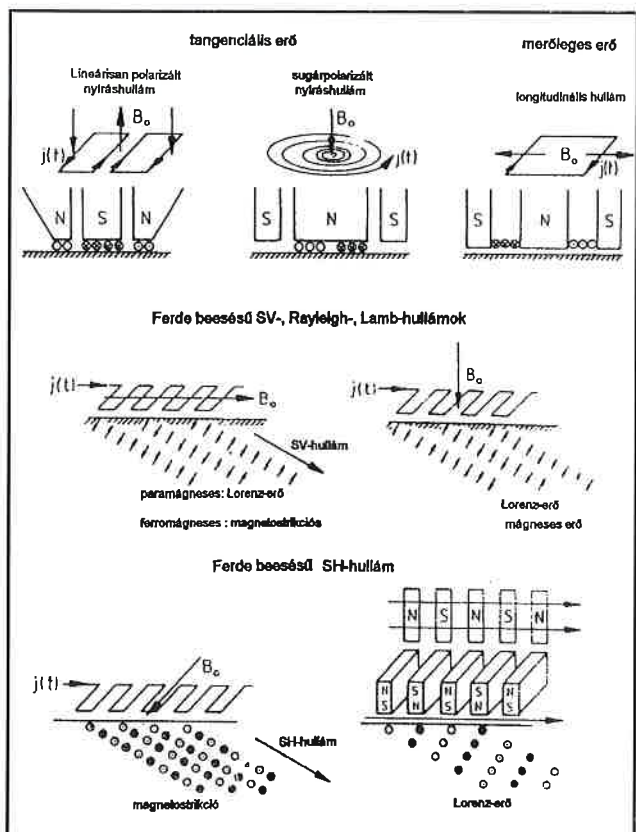


7. ábra. Az EMAT detektorok jellemzői

különböző geometriájú kiképzésével sokféle hullám módus gerjeszhető és detektálható. Szerpentin menetű tekercssel, a felülettel párhuzamos vagy merőleges mágneses térrel vertikális polarizációjú nyíró, Rayleigh- és Lamb-hullámok egyaránt kelthetők [7].

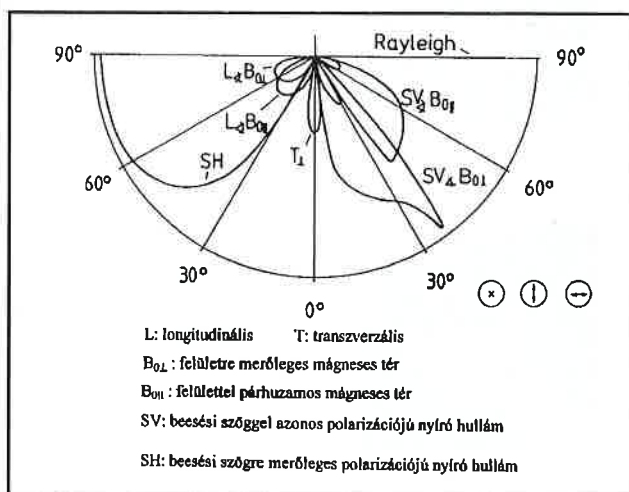
Ferromágneses anyagoknál, ha a tér a felülettel párhuzamos, a szerpentin elrendezésű tekercs horizontális polarizációjú ultrahangot gerjeszt.

Nem mágnesezhető anyagoknál a horizontális polarizációjú rezgés periódikusan változó irányítottságú mágnesező térrel valósítható meg; négyzet keresztmetszetű tekercsnél és váltakozó irányú mágneses térrel merőleges beesésszögű lineáris polarizációjú nyíró- és longitudinális hullám keletkezik (8. ábra). Felületre merőleges homogén mág-



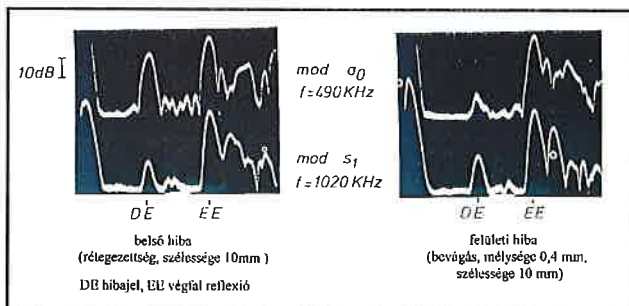
8. ábra. Különböző hullámok gerjesztése a nem mágnesezhető fémekben

neses tér és spirál formájú tekercs sugárirányban polarizált nyíróhullámokat eredményez. A 9. ábra azokat a szögtartományokat mutatja, amelyekben a felsorolt hullámtípusok a legnagyobb hatásokkal keltethetők.



9. ábra. A 8. ábra hullámtípusai gerjesztésének szögtartományai

A különféle gerjesztési módok elektronikusan könnyen válthatók, ezért a különböző típusú hibák jelei szétválaszthatók. A 10. ábra 0,4 mm vastagságú lemezben levő belső rétegezetség, illetve felületén levő 0,4 mm mélységű bevágás reflexiók jelet mutatja két gerjesztési módnál és két mérőfrekvenciánál.



10. ábra. Példa a különböző hibajelek szétválasztására

Alkalmazások

Hegesztési varratok vizsgálata

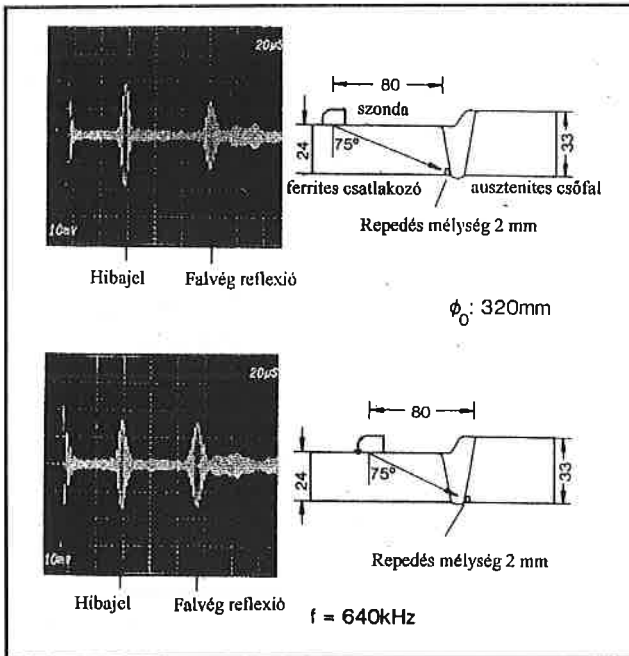
Auszténites munkadarabok ultrahangos vizsgálatát a nagyméretű szemcsék és az elasztikus inhomogenitások megnehezítik [8]. Elektromágneses úton azonban gerjeszthetők horizontális polarizációjú ultrahangok, amelyek előnyei:

- az alapanyag/varrat átmenet nem okoz módusváltást;
- az alapanyag/varrat átmenet akusztikusan átlátszó, nagy beesési szögtartományon belül;
- az auszténites varrat nem okoz nagy nyálábtorzulást és elhajlást;
- a hegesztési korona és a gyök kis jelet ad nagy nyáláb beesési szögnél.

A 11. ábra auszténites csővezetékhez hegesztett ferrites acél elágazás varrathibájának jelet szemlélteti [9].

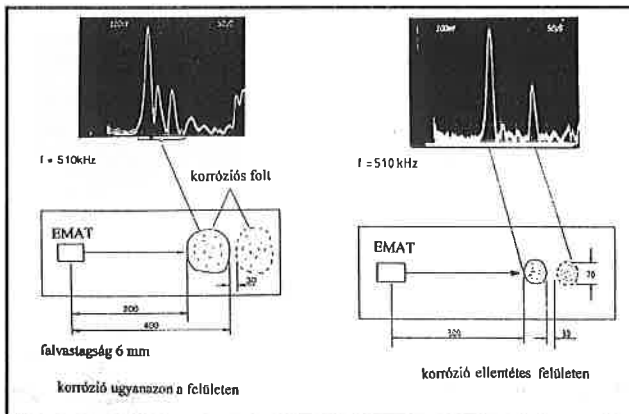
Korrózió vizsgálata

Nagyméretű felületeken (pl. olaj- és gáztároló tartályok 500-100 m²-es fenéklemeze) az ultrahangos falvastagságmérés nagyon lassú és költséges. Csatolóközeg nélküli horizontális polarizációjú EMAT ger-



11. ábra. Vegyes kötésű hegesztési varrat vizsgálata.

jesztésű vizsgálattal a feladat sokkal gyorsabban elvégezhető, az irányított sugárnyaláb kb. 1 m távolságon belüli korróziós foltoknál, pittingeknél jól detektálható reflexiós jeleket produkál abban az esetben is, ha a vizsgált szonda és a károsodás ellentétes lemezoldalon van (12. ábra).



12. ábra. Tartályfenék vizsgálata korrózióra.

Mélyhúzóhatóság vizsgálata

Hidegen hengerelt alumínium- és acéllemezek textúrája, a kristallitos irányítottsága, a nyújthatóság kis mértékben anizotrop.

Ilyen anyagok formálhatóságának jellemzésére a lemezből kimunkált próbatestet szakítóvizsgálat előtti és utáni szélességéből és vastagságából számítható valódi nyúlások viszonyát megadó r tényezőt vezették be [10]:

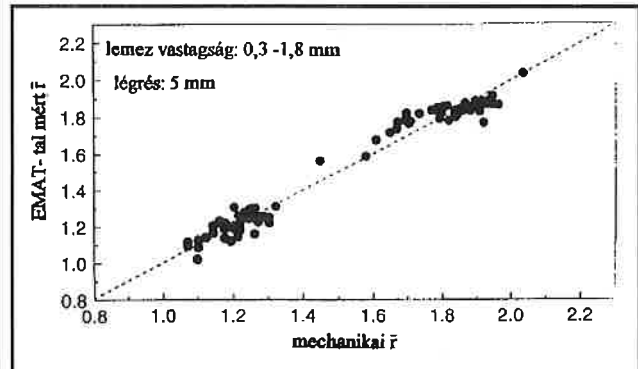
$$r = \ln(W_b/W_a) / \ln(T_b/T_a),$$

ahol W a szélességet, T a vastagságot jelöli. Az \bar{r} értékét a lemez hengerlési irányához képest 0° -, 45° - és 90° -ban kimunkált próbatesteken mért r értékek átlagaként határozzák meg:

$$\bar{r} = (r_0 + 2r_{45} + r_{90}) / 4.$$

Az így – roncsolásos eljárással – meghatározott átlagos formálhatósági index azonban jó korrelációban van az ultrahang terjedési sebességével, amelyet a hideghengerlés során a gyártósorba telepített EMAT mérőberendezéssel folyamatosan mérni lehet. Mivel a lemezek

vékonyak (≤ 2 mm), ezért a lemez és a mérőszonda közötti légrés akár 5 mm-ig is növelhető. A 13. ábra különböző széntartalmú és változó vastagságú acéllemezek mechanikai és magnetostrikciós EMAT eljárással meghatározott formálhatósági indexeinek korrelációját mutatja 300 m/perc hengerlési sebességnél.



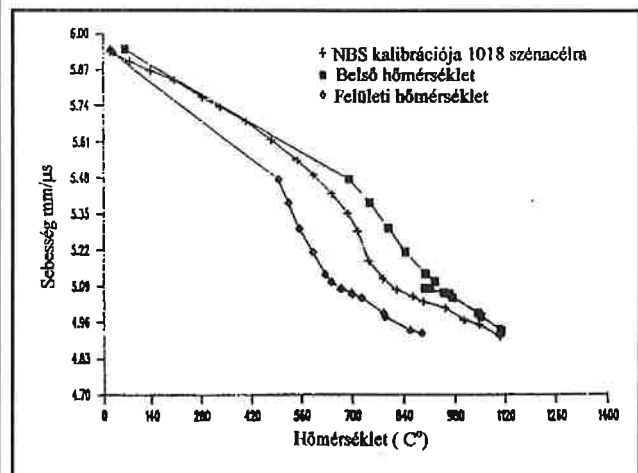
13. ábra. A roncsolásos és az EMAT-tal mért r értékek korrelációja.

Magas hőmérsékletű anyagvizsgálat

Folyamatos öntésnél, bugák hengerlésénél, varrat nélküli csőgyártásnál a magas hőmérsékletű munkadarabok folyamatos hibavizsgálata csak közvetlen érintkezés nélkül végezhető. Vízűtött EMAT mérőfejekkel repedések, egyéb belső hibák folyamatosan ellenőrizhetők és ezáltal az osztályozáson kívül lehetőséget nyújt a gyártási folyamat korrekciójára is. Különböző üzemekben 950°C - 1300°C hőmérsékletű félgyártmányokat tesztelnek ilyen berendezésekkel [11].

Mivel az ultrahang terjedési sebessége függ a hőmérséklettől, ezért az adott alapanyagra vonatkozó kalibrációval a buga felületi, illetve bugán belüli hőmérséklet is meghatározható EMAT segítségével.

A 14. ábra az ultrahang terjedési sebességének hőmérsékletfüggését mutatja; a lineáristól való eltérés a Curie-hőmérséklet alatt bekövetkező magnetostrikciós hatás következménye, amely természetesen a nem mágnesezhető anyagoknál nem jelentkezik.



14. ábra. Az ultrahang terjedési sebességének hőmérsékletfüggése

Folyamatos öntésnél a bugák belső hőmérsékletének ismeretében meghatározható a hengerlés előtti újramelegítés, illetve hűtés szükséges mértéke.

Mechanikai belső feszültség mérése

Hengerelt vasúti sínek elterjedésével szükségessé vált a szokásos nappali/éjszakai illetve nyári/téli hőmérséklet-változások okozta nyomó és húzó sínfeszültségek meghatározása. Ezek vizsgálatát nehezíti, hogy

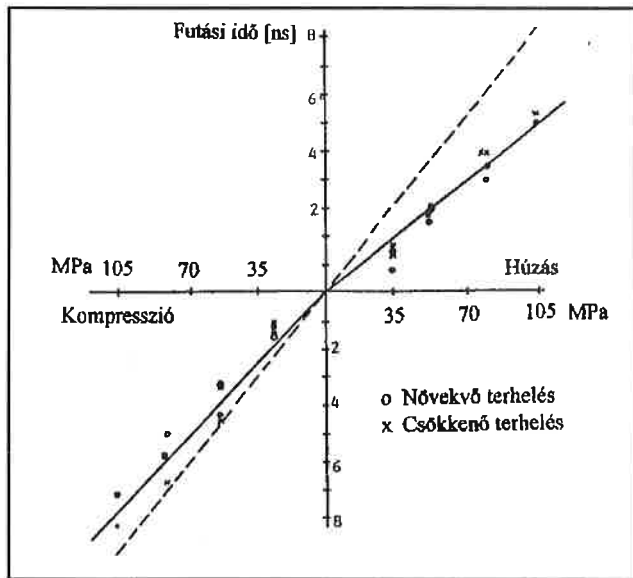
az alapanyag textúrája, a kialakult szemcseszerkezet anizotrópiája és a belső feszültség egyaránt befolyásolják a mérhető fizikai paramétereket.

Széles körű elméleti és kísérleti vizsgálatokból azonban kiderült, hogy a polikristályos acélokban és alumíniumban a feszültségtenzor szimmetria tengelye mentén haladó nyírási horizontális hullám (SH) sebessége és polarizációja nem függ a textúrától feszültségmentes állapotban, ezért az SH-hullám sebessége ugyanakkora a sín futófelületén és talpán hosszmenti (hengerlési) és arra merőleges irányban. Így a sínre helyezett SH-módusú ultrahang futási idő azonos, ha az akusztikus út párhuzamos vagy merőleges a sín hosszával. (A futási idő értéke: $\tau = \tau_0 \cdot T \cdot \cos 4\Theta$, ahol Θ a sín tengelyéhez viszonyított szög, T a sín textúrájával meghatározott arányossági tényező).

A hosszmenti hőmérséklet indukálta feszültségnél a kifejezés $S \cdot \cos 2\Theta$ -val bővül, ahol S a feszültséggel arányos – a nyírási modulusztól függő – tényező: $S = \tau_0 \cdot \sigma / 4G$, ahol σ tengelymenti feszültség, G a nyírási modulusz, értéke acélnál: $0,8 \cdot 10^5$ MPa.

A τ futási idő Θ függésének mérésével S és T meghatározható, azaz a feszültség és textúra egymástól elválasztható mindenféle külön kalibráció és a metallurgiai tulajdonságok megadása nélkül [12].

A 15. ábrán a vasúti sín nyírási modulusza alapján számolt és ténylegesen mért hosszirányú feszültsége látható (a σ hosszmenti feszültséget $\sigma = 2G [(t_1 - t_2)]t$ kifejezés alapján számolták, ahol $t_1 - t_2$ a felületi SH-hullám feszültségirányra merőleges és párhuzamos futási ideje; t a gerjesztő és detektor szonda közti távolságra vonatkozó futási idő és G a nyírási modulusz).



15. ábra. A vasúti sínben mért és a számított hosszirányú feszültségek

Annak ellenére, hogy a sín textúrája lokálisan jelentősen változik, az egymásra merőleges irányú futási idők közötti különbség – jó közelítéssel – lineáris függvénye a mechanikai feszültségeknek, és a nyomó- és húzófeszültség ellentétes előjelű időkülönbségeket ad. A számolt és mért adatok a nyomott tartományban jó egyezést mutatnak, a húzott tartományban mutatkozó eltérést valószínűleg a sín felületi oxidációja okozza.

A feszültségmérés mélysége kb. 1 mm, görbült felületekhez (pl. a sín szára) egyszerű geometriai korrekciót kell alkalmazni.

Hőmérséklet-indukált feszültségmérés megadásához figyelembe kell venni a gyártás vagy a használat során kialakult maradó feszültség értékét is.

Japánban a Shinkansen vasúti sínek feszültségvizsgálatára kidolgozott berendezéssel érintés nélkül, előkészítetlen mintákon az elérhető pontosság 3 MPa, és az 1,4 mm légrésingadozás által okozott hiba sem nagyobb 14 MPa értéknél [13].

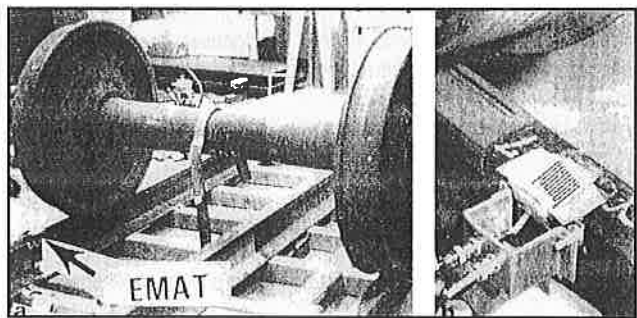
Vasúti kocsikerekek ellenőrzése

Gyártási maradék, dinamikus és sztatikus terhelés következtében felhalmozódó nagy értékű feszültség repedést válthat ki a futó felületeken, ha a kerék fékezés miatt jelentősen felmelegszik.

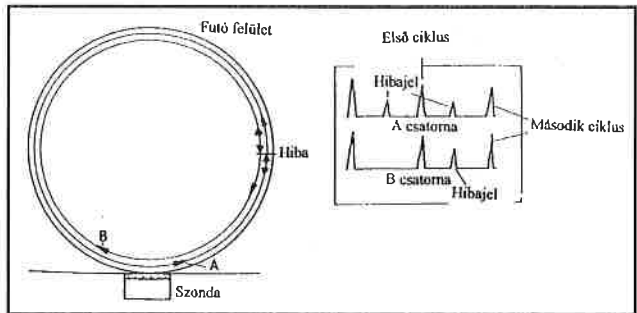
A futófelület repedéseinek jelzésére automatizált vizsgáló mérőrendszereket dolgoztak ki (Fraunhofer Int; NIST), amelyek az ellenőrző állomáson átgördülő minden egyes kereket menetközben képes bevizsgálni [14].

A sínbe épített EMAT típusú vizsgálófej (16. ábra) az átgördülő kerék által kiváltott startjelzés hatására a futófelületben két – ellentétes irányú – Rayleigh-hullámcsomagot indít, és a hibahelyről reflektált jeleket két csatornán veszi (17. ábra). A kiértékelést a vizsgálóállomáson elhelyezett számítógép végzi, egyidejűleg 8 vagy 12 kerék vizsgálati eredményét dokumentálja [15].

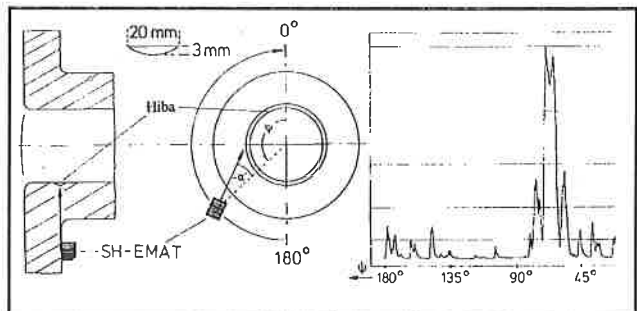
Mivel az SH-hullámok közvetlenül a felületen terjednek, komplikált geometriájú munkadarabok nem szokványos ellenőrzését is lehetővé teszik. Csővégre helyezett EMAT szondát mozgatva, a nagy nyomású tartály csatlakozása alatti repedés is könnyen kimutatható (18. ábra).



16. ábra. A sínbe épített EMAT típusú vizsgálófej



17. ábra. A vasúti kerék ellenőrző vizsgálata



18. ábra. Csőperem vizsgálata EMAT szondával

Összefoglalás

Az elmúlt 25 év során kidolgozott EMAT-eljárás a piezoelektromos ultrahangos anyagvizsgálat reális alternatívájává fejlődött, elsősorban a durva, előkészítetlen felületű, gyorsan mozgó és nagy hőmérsékletű feladatok terén.

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Előnyei:

- EMAT-gerjesztésű, horizontális polarizációjú (SH) irányított ultrahang hullámok elhajlásánál, visszaverődésénél és szóródásánál móduskonverzió nem lép fel, ezért összetett geometriájú tárgyak, hegesztési varratok jele lényegesen könnyebben értelmezhető.

- Irányított (SH) hullámokkal nagy felületű tárgyak (pl. tartályfalak) külső és belső oldali korróziója, ragasztott felületek szétválása egyszerűen és gyorsan meghatározható.

- Csatolóközegre nincs szükség; a durva, festett, korródeált csőfal vastagsága megbízhatóan mérhető.

- Gyártósorba illetve folyamatos hibavizsgálatra használható.

- Magas hőmérsékletű (<1300 °C) termékek vizsgálatára is alkalmazható.

- Bugák külső és belső hőmérséklete, olvadákok szilárd-folyékony fázishatára, galvanizáló kádak falvastagsága kimérhető.

- Vasúti sínek, kerekek, hídelemek mechanikai belső feszültsége az alapanyag kémiai összetétele és textúrájának ismerete nélkül is meghatározható.

- Az alkalmazott sztatikus (vagy alacsony ismétlési frekvenciájú) mágneses tér lehetővé teszi egyéb - mágneses elven működő - anyagvizsgálatokkal való korrelációt a mérési pontosság fokozása érdekében (pl. keménységmérés).

- A vizsgálati eljárás könnyen automatizálható.

Hátrányai:

- Csak elektromosan vezető alapanyagoknál használható.

- Érzékenysége a piezoelektromos szondákhoz viszonyítva közel három nagyságrenddel kisebb, ezért a mérőberendezés költségesebb.

Hivatkozások

- [1] J. Krautkrämer, H. Krautkrämer: Ultrasonic Testing of Materials. 3. Ed., Springer-Verlag, Berlin 1983.
- [2] Y. Bar-Cohen, A. K. Mal: Ultrasonic Inspection. Metals Handbook. 9 Ed., Vol. 17, ASM International, 1989.

- [3] I. A. Viktorov: Physical basics in industrial utilization of Rayleigh and Lamb ultrasonic waves. Nauka, Moscow 1966.
- [4] R. B., Thompson: „Noncontact Transducers,” Proceedings of the 1977 Ultrasonics Symposium, IEEE Cat. No. 77 CH1264-ISU, pp 74-83.
- [5] R. B., Thompson: „A Model for the Electromagnetic Generation and Detection of Rayleigh and Lamb Waves,” IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-20, No. 4. Oct. 1973, p. 340.
- [6] C. M. Fortunko, and R. B. Thompson: „Optimization of EMAT Parameters for Maximum Dynamic Range,” Proceedings of the 1976 Ultrasonics Symposium, IEEE Cat. No. 76 CH1 120-5SU, p. 12.
- [7] H. J. Salzbarger: Recent Results In Nondestructive Testing With Electromagnetic Ultrasonic Transducers. Review of Progress in Quantitative NDE (Plenum Press, New York, 1986) Vol. 5.
- [8] G. Hübschen: UT With SH-Waves And Electromagnetic Ultrasonic (EMUS)-Transducers. Review of Progress in Quantitative NDE (Plenum Press, New York, 1990) Vol. 9.
- [9] G. Hübschen H. J. Salzbarger: Inspection of Dissimilar Metal Welds Using Horizontally Polarized Shear (SH-) Waves and Electromagnetic Ultrasonic (EMUS) Probes. Int. J. Pres. Ves. & Piping 39 (1989) 331-344.
- [10] R. Murayama, K. Fujisawa, H. Fukuoka nad M. Hirao: Development of an on-line evaluation system of formability in cold-rolled steel sheets using electromagnetic acoustic transducers (EMATs). NDT & E International, Vol. 29, No.3, pp 141-146, 1996.
- [11] D. M. Boyd, P. D. Sperline: Noncontact Temperature Measurements Of Hot Sheet Bodies Using An Electromagnetic Acoustic Transducer. Pacific Northwest Laboratory, Richland, PNL-SA-14791, 1987.
- [12] D. T. MacLauchlan, G. A. Alers: Measurement Of Thermal Stress In Railroad Rails Using Ultrasonic SH Waves. Review Of Progress In Quantitative NDE (Plenum Press, New York, 1987) Vol. 6.
- [13] M. Hirao, H. Ogi, H. Fukuoka: Advanced Ultrasonic Method of Measuring Rail Axial Stresses with Electromagnetic Acoustic Transducer. Res. Nondestr. Eval. (1994) 5:211.
- [14] R. E. Schramm, P. J. Shull A. V. Clark, Jr., D. V. Mitrakovic: EMATS For Roll-By Crack Inspection of Railroad Wheels. Progress in Quantitative NDE (Plenum Press, New York, 1988) Vol. 8.
- [15] H. J. Salzbarger: Recent Results In Nondestructive Testing With Electromagnetic Ultrasonic Transducers. Review Of Progress In Quantitative NDE (Plenum Press, New York, 1986) Vol. 5.

- Képrögzítés?
- Makrofelvétel?
- Kéпкиértékelés?
- CCD kamera?

Ha Önnek ilyen problémái, vagy fejlesztési szándékai vannak és szeretné elfelejteni a fotótechnikát, akkor keressen meg bennünket!

PHILIPS + ANDREX = YXLON International X-Ray GmbH

A két nagy múltú röntgenberendezés-gyártó egy reményteljes jövővel tovább folytatja piaci tevékenységét

Képviseelő: **GRIMAS** Kft.

Kérje részletes katalógusunkat!

GRIMAS Ipari Kereskedelem

✉ 1214 Budapest, Erdősor út 167. • Telephely: 1214 Budapest, Puli sétány 2-4.
Tel.: 420-5883, GSM: 06 20 935 35 74, Fax: 276-0557
Internet: grimas@mail.matav.hu, www.grimas.hu