

Részletes zaj-analízis előnyei Barkhausen-zaj mérések alkalmazásaiban

Harasztosi Lajos – Szabó István – Daróczi Lajos – Szabó Sándor – Erdélyi Zoltán

Balogh Zoltán – Eszenyi Gergely – Mojzes Imre* – Beke Dezső

Kulcsszavak: Barkhausen-zaj, zajimpulzus-elemzés, önszerveződő kritikus jelenség (SOC), mérőrendszer, anyag-tudományi alkalmazás

Keywords: Barkhausen noise, noise impulse analysis, self-organization critical phenomenon (SOC), measuring system, applications in material science

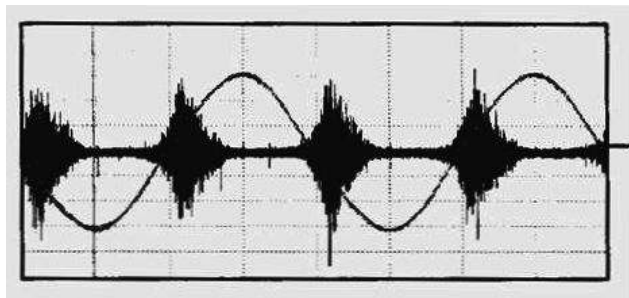
Summary

Advantages of detailed noise analysis by measuring of Barkhausen noise. The statistical noise analysis is a novel method for the evaluation of the Barkhausen noise. This method is based on the detection and processing of the individual pulses originated from the domain wall jumps. Using this method it is possible to characterise materials, determine stress distribution, trace phase transformations and technological processes. In some cases this system has higher sensitivity than the traditional method. For the application on industrial conditions it is necessary the further development of the measurement system and the evaluation methods as well.

Bevezető

A mágneses Barkhausen-zaj mérésén alapuló méréstechnika az iparban széleskörűen használt roncsolásmentes anyagvizsgáló eljárás. Alkalmazása kiterjed különböző ferromágneses anyagok maradó feszültségállapotának, felületkezelési állapotának, szövetszerkezetének vizsgálatára. Az ipari alkalmazások az 1970-es évektől folyamatosan fejlődtek, manapság az alkalmazások széles köre igazolja a módszer megbízhatóságát. [1.]

A hagyományos méréstechnika esetén a mintát szinuszosan változó mágneses térrel gerjesztik és egy detektor tekercsen mérik a mintából kiszóródó, a Barkhausen-zajt is tartalmazó mágneses jelet (1. ábra).



1. ábra. Zajcsomagok és a gerjesztő jel időfüggése.
Fig. 1: The noise packets and time dependence of the generating signal

Megfelelő jelkondicionálás után a zaj átlagértéke meghatározható, amelynek vizsgálatával a minta anyagjellemzőire lehet következtetéseket levonni. [2.,3.]

A növekvő felhasználói igények a méréstechnika továbbfejlesztését ösztönzik, manapság is sok fejlesztési irány látszik, pl. zaj burkológörbéjéből az anyagi tulajdonságokra további ismeretek, ill. a mérőlévők pontosítása várhatók. [4.]

Impulzus méréstechnika

Az 1980-as évek végétől az egyre pontosabb zajmérési technikák és a statisztikus fizika önszerveződő kritikusági elméletének hatására egy teljesen új mérésmetodikai irány is kialakult. Ezeknél a mérések-nél az egyedi Barkhausen-csúcsokat vizsgálják (amplitúdó, szélesség, terület), teljesen új zaj-feldolgozási méréstechnika alkalmazásával (2. ábra).

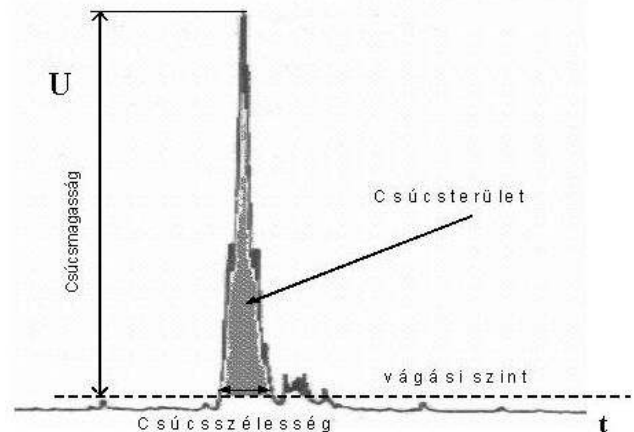


Fig. 2. ábra

A Barkhausen-zaj egy úgynevezett önszerveződő kritikus (SOC – self-organization critical phenomenon) jelenség. Az SOC elméletet először az $1/f$ zajra alkalmazták [5.]. Ilyen folyamatok során a különbö-

Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizika Tanszék, 4026 Debrecen, Bem tér 18/B.

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Elektronikai Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Goldmann Gy. tér 3.,

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

zõ fizikai mennyiségek statisztikus eloszlása hatványfüggvényekkel jellemezhetõk:

$$\lg(P) = \alpha \lg(x) \quad (1)$$

ahol P – az adott fizikai mennyiség, jelen esetben a Barkhausen-zaj valamely x paraméterének (csúcsterület, -szélesség, -amplitúdó stb.) gyakorisága (3. ábra).

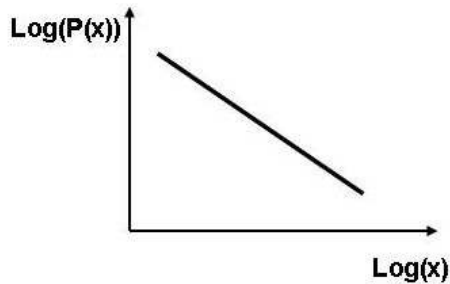


Fig. 3. ábra

Az (1) összefüggés igen széles mérettartományban igaz és csak a minták véges méretéből eredő hatások korlátozzák. Az eloszlásokat jellemző legfontosabb paraméterek a hatványkitevő (α) és sokszor, a mérőhatások által is befolyásolt levágási érték, melyet egy exponenciális taggal szokás figyelembe venni.

Például a csúcsmagasság eloszlás:

$$P(h) \sim (h^{-\beta}) \exp(-h/h_0), \quad (2)$$

β : kitevő, h_0 : levágási érték.

A zaj-eloszlás paramétereiben is lehetnek olyan információk, amelyek az anyagtudományi diagnosztikában hasznosak lehetnek.

A mérőrendszer

A mérőrendszer fő építőelemei a gerjesztő, detektáló erősítő rendszer, valamint egy asztali számítógép alapú mérésadatgyűjtő és kiértékelő software. A gerjesztő rendszer blokkdiagramja a 4. ábrán látható.

A gerjesztő tér nullszimmetrikus, nagyon lassan változó ($nx10$ s periódusidő) lineáris átmágnesező teret biztosító generátor. A minta a gerjesztés során telítéstől telítésig átmágneseződik.

A zaj-erősítő rendszer blokkdiagramja az 5. ábrán látható.

A kis menetszámú detektor tekercsen keletkező impulzus jel több lineáris, DC csatolt erősítőfokozaton keresztül jut a számítógépben lévő mérésadatgyűjtő kártyába. A doménmozgás által a tekercsben keletkező feszültség impulzusok a gerjesztő tér pozitív változásakor pozitív, míg ellentétes tér változásnál negatív impulzusok sokasága.

A mérőszoftver az egyedi feszültség impulzusok valós idejű feldolgozását végzi, tárolja az impulzus amplitúdó, szélesség, terület és intenzitás spektrumokat.

A mérések kiértékelése

A mérési adatok kiértékelése a mérőrendszer által szolgáltatott spektrumokból a következő adatok kinyerését jelenti:

1. Skálaexponens
2. Levágási érték
3. Abszolút beütésszám

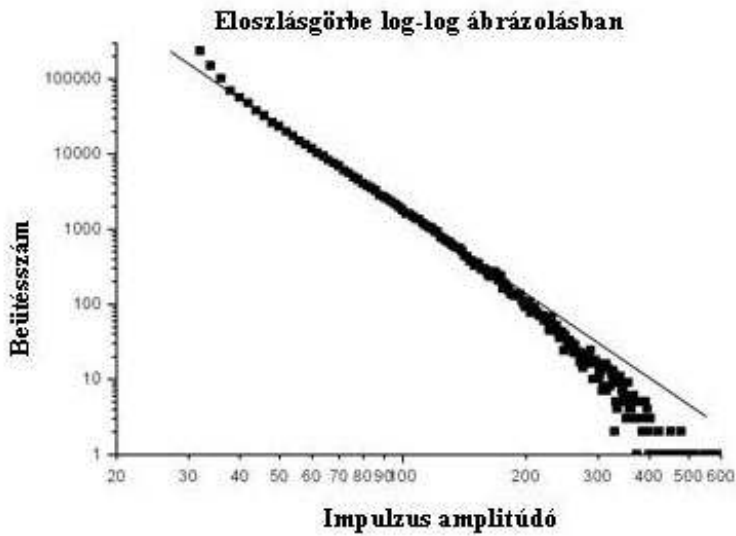
A 6. ábra egy szerkezeti acélon (S 235 JRG1) végzett mérés amplitúdóeloszlás-függvényét szemlélteti.



4. ábra. A gerjesztő rendszer blokkdiagramja – Fig. 4: Block diagram of the generating system



5. ábra. A zaj-erősítő rendszer blokkdiagramja – Fig. 5: Block diagram of the noise amplifier system



6. ábra. Egy szerkezeti acélon (S 235 JRG1) mért amplitúdóeloszlás-függvény

Fig. 6: Amplitude distribution function measured on a structural steel (S 235 JRG1)

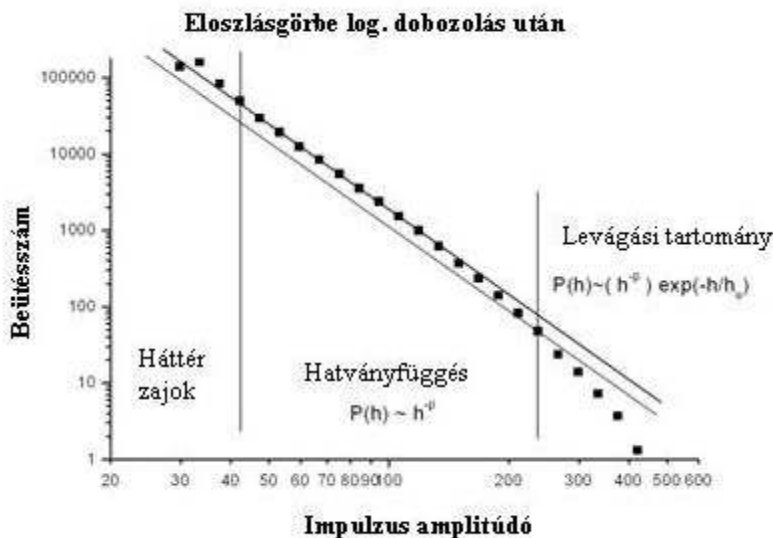


Fig. 7. ábra

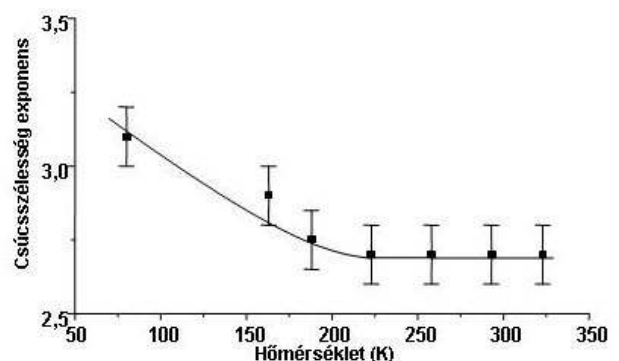
Anyagtudományi alkalmazások, eredmények

1. Zajmérések a hőmérséklet függvényében

Méréseket végeztünk az S 235 JRG1 szerkezeti acélon a hőmérséklet függvényében. A 8. ábrán a statisztikus zajanalízissel kapott csúcshélesség kitevő hőmérsékletfüggése van ábrázolva.

8. ábra. A csúcshélesség kitevő hőmérsékletfüggése

Fig. 8: Temperature dependence of exponent of peak's width measured on a steel (S 235 JRG1)



A mérés 25 átmágnesezési ciklus (1 ciklus: 50 s) alatt keletkezett zajimpulzus begyűjtésével készült.

Az eloszlásgörbe lg-lg ábrázolásakor jól megfigyelhető a görbe középső tartományán a lineáris viselkedés. Ez a jellegzetesség a SOC elméletéhez való igazodást jelzi. Az elméleti egyenestől való eltérés az elmélet alkalmazhatósági határait jelöli ki. Ezek a határok a 7. ábrán láthatók.

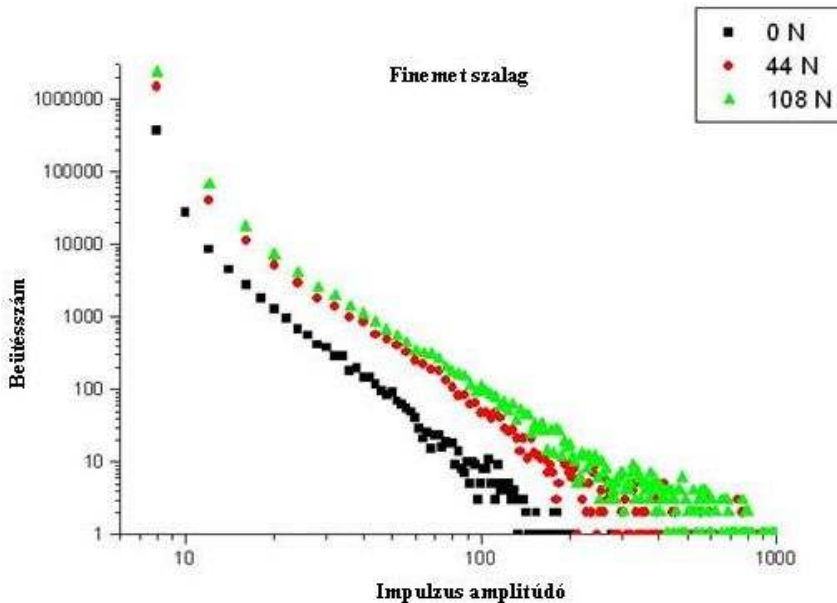
A 6. és a 7. ábra közötti különbség oka, hogy a 6. ábra adatsorára egy statisztikajavító eljárást alkalmaztunk. Ez az ún. logaritmusos dobozolás a görbe kis beütésszámú tartományában biztosít jelentős statisztikajavulást, miáltal a görbe jobban illeszthetővé válik. Itt már jól értelmezhető a lineáris illesztési határ felső értéke, a levágási érték (magasságfüggésnél h_0). Definíciószerűen ez az az érték ahol az eloszlásfüggvény e-ad részére csökken. A hatványfüggést a kis amplitúdó tartományban a háttérzajok korlátozzák.

Az elmélet szerint eddig eloszlásfüggvényekről beszéltünk, a mérési adatok ábrázolásánál azonban a beütésszámok szerepelnek. (Az eloszlásfüggvény számításához a csatornánkénti beütésszámot el kell osztani az összes beütésszámmal.) Ennek oka, hogy a mérések során azt tapasztaltuk, hogy az összebeütésszámban lényeges információ rejlik.

Növekvő hőmérséklettel a kitevő csökken, majd 200 K hőmérséklet fölött ez a csökkenés megáll, a kitevő ennél magasabb hőmérsékleteken már nem változik [7].

A könyökpontra kapott kb. 200 K hőmérséklet megfelel az adott anyag szívós–rideg átmeneti hőmérsékletének.

2. Finemet típusú nanoszemcsés szalag a terhelő erő változtatásakor



9. ábra. A csúcsmaximumok eloszlásfüggvényei a húzóerő függvényében

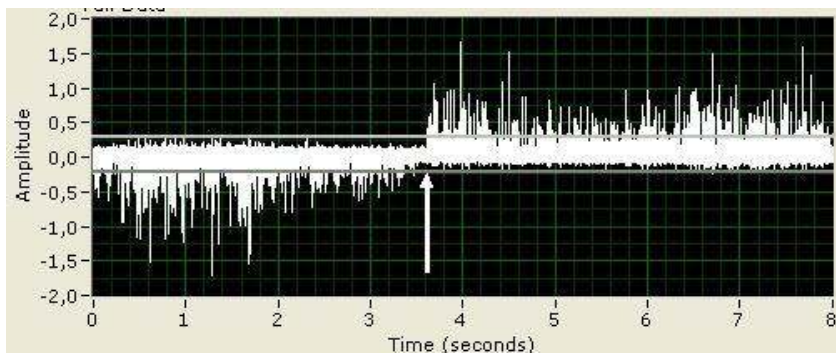
Fig. 9: Distribution functions of the pick values measured by different tensile forces on a nano-grained (Finemet) material

A mérőrendszer segítségével vizsgálatokat végeztünk nano-kristályos Finemet anyagokon. A mérés során egy kb. 10 cm hosszú 10 mm széles és 10 μm vastag szalagot terheltünk. A csúcs maximumok eloszlásfüggvényeit a 9. ábra szemlélteti.

A beütésszám változása nem-lineáris, telítődő jellegűt mutat a feszítőerő függvényében, hiszen 0 N-ről 44 N-ra sokkal nagyobb a változás, mint 44 N-ről 104 N-ra történő változásakor. A meredekség kismértékű változása is megfigyelhető.

A kapott eredmény összhangban van az RMS méréstechnikában mérhető effektussal [1.]. A mérés-technika érzékenysége messze meghaladja a hagyományos RMS technikáét, olyan esetben is jól kiértékelhető eredményeket biztosít, amikor az RMS érték már kiértékelhetetlen.

3. Fázisátalakulás vizsgálata Ni_2MnGa ferromágneses, alakmemória ötvözetekben



10. ábra. A Ni_2MnGa ötvözet változó mágneses térben gerjesztett Barkhausen-zaja

Fig. 10: Barkhausen noise of the Ni_2MnGa alloy generated by changing magnetic field

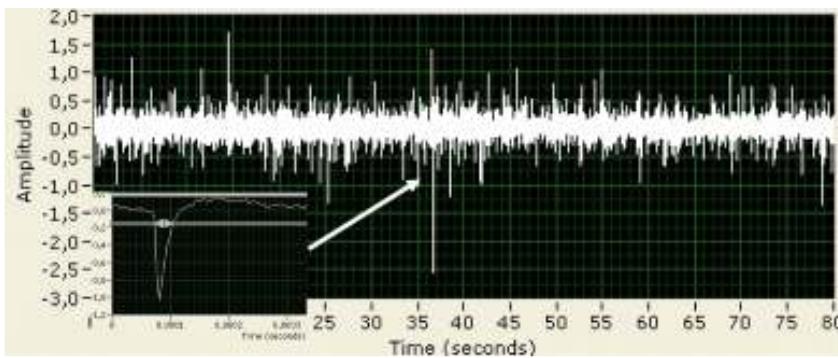
A Ni_2MnGa ötvözet mágneses alakmemória tulajdonságot mutat, ezért napjainkban a legintenzívebben vizsgált anyagok közé tartozik. [8.] Az anyag meghatározott hőmérsékleteken reverzibilis kristályszerkezeti változást, martenziteshez hasonló átalakulást mutat. A magas hőmérsékleten stabilis fázis (ausztenit), illetve az alacsony hőmérsékleten stabilis (martenzit) fázis is ferromágneses, természetesen eltérő mágneses tulajdonságokkal.

A változó mágneses térbe helyezett martenzites vagy ausztenites állapotban lévő mintában gerjesztett Barkhausen-zaj a 10. ábrán látható. A nyíl a nulla mágneses teret, a vízszintes vonalak a háttér levágási küszöböt jelölik. A mágnesezettség változása a külső tér irányába történik, ezért az impulzusok a gerjesztő tér irányának megfelelően egyirányúak. Az impulzusok amplitúdó és időtartam-eloszlása természetesen az ausztenit

| | α (in Eq. 1-ben) | β (in Eq. 2-ben) |
|------------------|-------------------------|------------------------|
| Austenite (MBN) | 2.8 ± 0.15 | 5 |
| Martensite (MBN) | 3.2 ± 0.15 | 3.0 ± 0.15 |
| Transition (ME) | 3.0 ± 0.15 | 3.0 ± 0.15 |

1. táblázat. A Ni_2MnGa ötvözet fázisain mért kitevők értékei

Table 1: Values of exponents measured on Ni_2MnGa alloy's phases



11. ábra. A Ni_2MnGa ötvözet mágneses emissziója (ME) a martenzites fázisátalakulás közben
Fig. 11: Magnetic emission (ME) of a Ni_2MnGa alloy during martensitic phase transformation

és martenzit fázis esetében más és más, ami a korábban már említett kitévőkkel jellemezhető (1. táblázat).

Külső mágneses tér alkalmazása nélkül a martenzites fázisátalakulás során is keletkezik mágneses zaj (mágneses emisszió, ME). Mivel ebben az esetben nincs külső tér által kitétetett irány, ezért a zajimpulzusok is véletlenszerűen változó előjelűek (11. ábra). A Barkhausen-zaj és a mágneses emisszió más-más eredetű, ami az eloszlásfüggvények kitévőinek némileg eltérő értékeiben is megmutatkozik.

Összefoglalás

Új méréstechnikai irány alakult ki a Barkhausen-zaj mérésére, kiértékelésére. Ez a doménmozgásból eredő egyedi zajimpulzusok feldolgozására épül. A méréstechnika alkalmazásával lehetőség nyílik anyagjellemzők mérésére, feszültségállapot feltérképezésére, fázisátalakulások ill. technológiai folyamatok követésére. A rendszer nagy érzékenységgel és olyan esetekben is mérhető, kiértékelhető jelet produkál, amelyre a hagyományos RMS technikánál nincs lehetőség. A mérő-, kiértékelő rendszer továbbfejlesztése mindenképpen szükséges a méréstechnika ipari alkalmazhatósága érdekében.

Köszönetnyilvánítás

Ezt a munkát a következő pályázatok támogatták: RET-06/2004, NKFP-3A/043/2004, OTKA T-049513.

Köszönjük továbbá a Metálelektro Kft., valamint a Magnetec Ungarn Kft. támogatását.

Hivatkozások

- [1.] Posgay György, Ferromágneses anyagok vizsgálata Barkhausen-zaj mérésével. *Anyagvizsgálók Lapja*, 1991/1.
- [2.] Takács, N., Posgay, Gy., Harasztosi, L., Beke, D.L.: Correlation between Barkhausen-noise and corrugation of railway rails, *Journal of Materials Science* 37, 3599-3601 (2002)
- [3.] István Mészáros: Complex magnetic investigation of ferritic stainless steel, *Material Science Forum*, Vols.473-474 (2005) pp. 231-236
- [4.] Giorgio Donzella et al.: Multi-parametric Barkhausen Noise Measurements for Stress and Microstructure Evaluation, 4th International Conference on Barkhausen Noise and Micromagnetic Testing, 2003. Brescia,
- [5.] P. Bak, C. Tang and K. Wiesenfeld: *Phys. Rev. Lett.* **59**, 381-384 (1987)
- [6.] G. Durin and S. Zapperi: *Phys. Rev. Lett.* **84**, 4705-4708 (2000)
- [7.] L. Harasztosi, L. Daróczy, I. A. Szabó, Z. Balogh and D. L. Beke: Temperature dependence of Barkhausen noise parameters in carbon steel, *Material Science Forum*, 2006.
- [8.] Zoltán Balogh, Lajos Daróczy, Lajos Harasztosi, Dezső L. Beke, Thomas A. Lograsso and Deborah L. Schlagel: Magnetic Emission During Austenit-Martensite Transformation in Ni_2MnGa Shape Memory Alloy, *Materials Transaction*, Vol 47. No3. (2006) pp 1 to 4. Special Issue on Shape Memory Alloys and their Application.