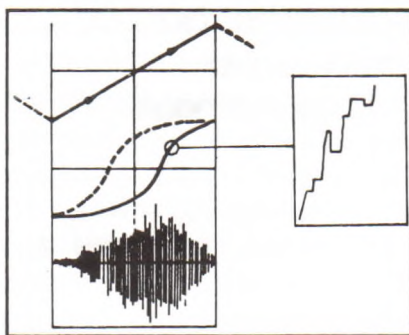


Ferromágneses anyagok vizsgálata Barkhausen-zaj mérésével

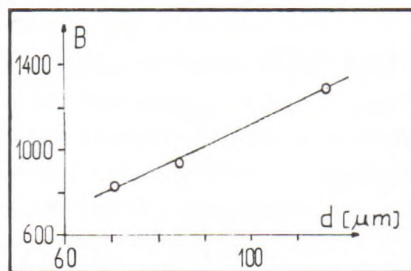
Posgay György*

A Barkhausen-zaj

Az iparban használt fémek jelentős része ferromágneses. A ferromág-

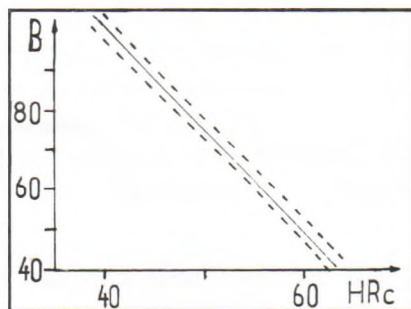


1. ábra Barkhausen-ugrások a mágneses hiszterézisgörbén.



2. ábra Az átlagos szemcseméret (d) és a Barkhausen-zaj (B) közötti összefüggés kis széntartalmú acélnál [2]

neses anyagok mágneses szerkezetére olyan tartományok, úgynevezett domének jellemzők, amelyekben az atomi mágnesezettsé-



3. ábra K1 anyagú eszterga vezetőléc keménység – zaj összefüggése. Szórásmerző 200 minta vizsgálatából.

gek iránya azonos. A mágnesezettség változása a domének közötti több száz atomi távolságon, a doménfalban történik. Változó mágneses térbe helyezett ferromágneses anyag mágnesezettségét hiszterézisgörbe írja le. A mágnesezettség növekedése kezdetben a kedvezően irányított domének térfogatának növekedéséből adódik. A folyamat a doménfalak reverzibilis, majd irreverzibilis mozgásának eredménye.

A doménfal energiája a mágneses térnek nem monoton függvénye, ezért ez a mozgás nem folyamatos, hanem ugrásszerű.

Emiatt a mágnesezettség növekedése sem folyamatos, a hiszterézisgörbe nagyon sok kis lépcsőből áll. Ez a mágnesezettség változása a vizsgált anyag körül elhelyezett tekercsben feszültségugrásokat indukál, ez lényegében a mágneses Barkhausen-zaj (1. ábra). Keletkezésének alapvetően két oka lehet: az anyag ideális szerkezettől való eltérése és/vagy mechanikai feszültség.

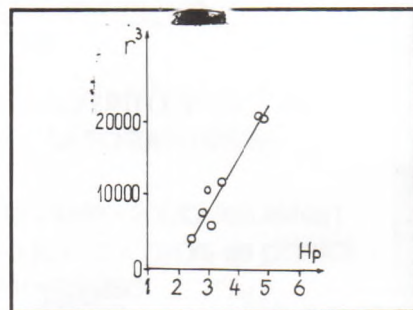
Az első esetben szennyezők, zárványok kötik meg a doménfalat, amely növekvő térerősség hatására ezekről mintegy lepattan. A második esetben a mechanikai és mágneses állapot között kapcsolatot teremtő magnetostrikció együtthatója nem nulla.

Ezekben az úgynevezett magnetostriktív anyagokban a mágneses Barkhausen-zajjal együtt akusztikus vagy mechanikai Barkhausen-zaj is keletkezik. Ezek a zajok nemcsak változó mágneses térrel kelthetők, hanem változó mechanikai feszültséggel is, például rezgetéssel. A gyakorlat szempontjából a mágnesesen keltett mágneses Barkhausen-zaj mérése érdekes. A tovább-

biakban ezért csak ezzel az effektussal foglalkozunk.

A Barkhausen-zaj mérése

A Barkhausen-zaj mérő berendezések mérőfejből és az azt meghajtó illetve a jeleket feldolgozó központi egységből állnak. A mérőfejben gerjesztő tekercs kelt kis frekvenciájú változó mágneses teret, és egy detektor észleli az anyagban keletkező Barkhausen ugrások indukálta zajt. Elektronika gondoskodik arról, hogy kisebb légrések esetén (0,1...1 mm) a gerjesztő tér nagysága illetve a detektált jel ne függjön a mérőfej és az anyag közötti légréstől. A detektált jel kiválasztott frekvencia tartományának erősítése után valamilyen jellemző értékét – általában átlagértékét – jelenítik meg. A mérőfejek az adott feladathoz alakíthatók ki; a detektor felülete 1 mm²-től néhányszor 10 mm²-ig terjedhet. Statikus mérés mellett le-



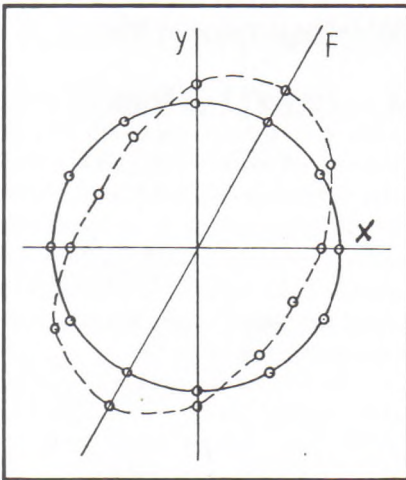
4. ábra Gömbgrafitos öntöttvas átlagos grafitmérete (r^3) és Barkhausen spektrumának jellemzője (H_p) közötti összefüggés [5].

hetőség van maximum néhány m/s sebességgel végzett dinamikus mérésre is.

Mikroszerkezet vizsgálata

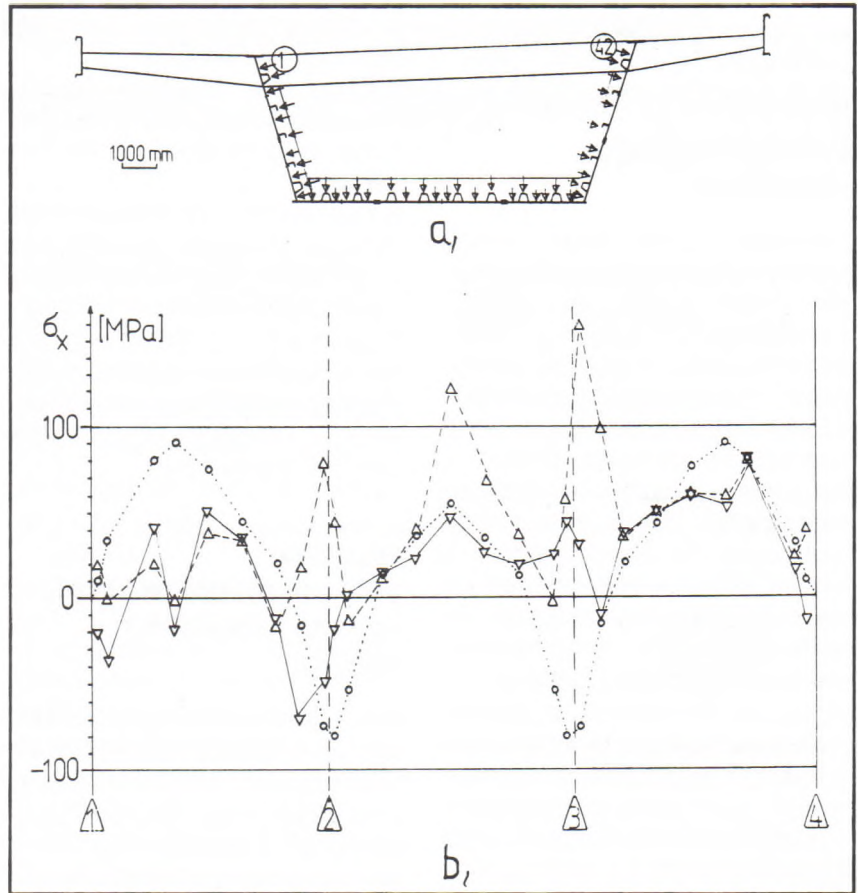
Az eltérő mágneses tulajdonságokkal rendelkező szövetek (ferrit, per-

*Metalelektronika Kft.

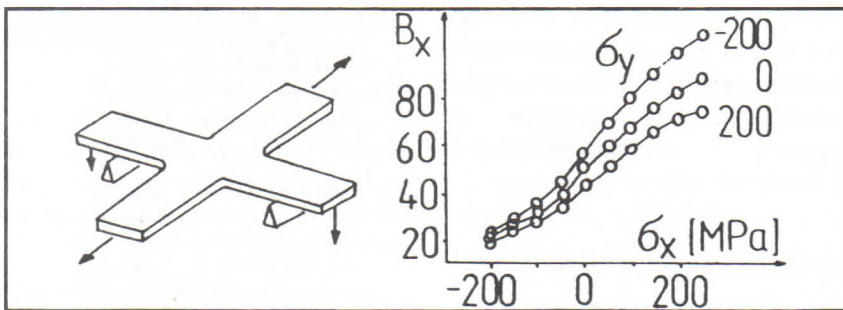


5. ábra A zaj irányfüggése homogén, izotrop anyagnál feszültségmentes (folyamatos vonal) és F irányú húzófeszültség állapotában.

lit stb. [1]), a domének méretét befolyásoló átlagos szemcseméret [2] (2. ábra), a doménfalakat megkötő hibák és kiválások (karbidok, diszlokációk stb) [3] mind befolyásolják a zajt. Ezért a zaj mérésével ezek a jellemzők vagy hatásuk (pl. keménység) vizsgálhatóvá válnak. Az iparban a keménység mérése a leggyakoribb minősítés. Sok esetben azonban a hagyományos eszközök nem alkalmazhatók, pél-



7. ábra Az MO autópálya Budafok – Csepel hídjának keresztmetszete mérési pontokkal (a). A budafoki ártéri híd fenékszerkezetének bordáin (Δ) és lemezein (∇) mért hosszirányú feszültségek, valamint a tervező által számított feszültség (o) a híd építési, ideiglenes sarukon kiemelt fázisában [6].

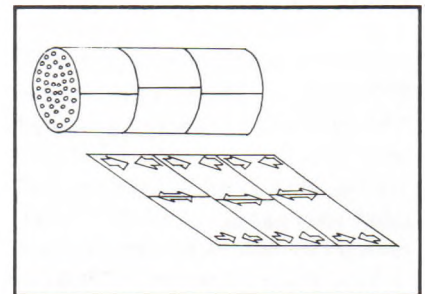


6. ábra Biaxiális feszültség állapot keltése próbatesten; összefüggés az x irányú zaj és feszültség között különböző nagyságú, y irányú feszültségek mellett (kalibrációs görbesereg).

dául bonyolult geometriájú daraboknál vagy roncsolásmentes vizsgálatot igénylő felületi minőségű késztermékeknél. A Barkhausen-zaj mérésével számos esetben megoldható ez a probléma. A 3. ábrán eszterga vezetőléc finomra köszörült kész állapotában végzett összehasonlító vizsgálat eredménye látható. A zaj mérésével a keménység meghatározása már

köszörülés előtt is elvégezhetővé vált. A mérési eljárás eredményesen alkalmazható a keménység mélységi változásának meghatározására is [4]. Az öntöttvasak minősítésében a grafitalak ismerete fontos. Japán vizsgálatok eredményei szerint a zaj mérése erre is felhasználható (4. ábra) [5].

Az eddig említett vizsgálatok mind stabil mikroszerkezetre vonatkoztak. A mérési eljárás azonban alkalmazható fázisátalakulások megfigyelésére is. Természetesen ehhez speciális, magas hőmérsékletet is elviselő mérőfej szükséges. Kísérletek folynak atomerőművi anyagok sugárkárosodásának vizsgálatára is. A sugárkárosodás olyan mikroszerkezet változás, mely a Barkhausen-zaj nagyságát és jel-



8. ábra Hőcsereleő tartály palástján a csövek behegesztésének hatására fellépő feszültségváltozások.

lemzőit már kis dózis esetén is befolyásolja.

Feszültségállapot vizsgálata**

Homogén, izotróp anyag bármely pontjában bármilyen irányú gerjesztés mellett azonos zaj mérhető. Húzófeszültség hatására a feszültség irányában megnő, rá merőlegesen csökken, míg nyomófeszültség hatására a feszültség irányában csökken a zaj (5. ábra).

Ez az alapja a zaj – feszültség kalibrálásnak. Ennek több módja lehetséges. Új konstrukciónál a szerkezethez használt anyagból készült próbatesten kéttengelyű feszültségi állapotban meghatározható a zaj feszültség függése (6. ábra). Ezután a szerkezet bármely pontjában két egymásra merőleges irányban végzett mérés eredményéből számítással meghatározható a síkbeli főfeszültségek nagyságai és irányai.

Abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre próbatest, a vizsgálandó szerkezeti elem ismert feszültségváltozás keltésével lehet meghatározni a kalibrációs görbét. A zaj feszültség függése általában az anyagok folyáshatáráig reverzibilis. Ahol szerkezeti változás következett be, pl. hegesztések hőzónájában, hőkezeléssel modellezett próbatestet lehet használni. A Barkhausen-zaj frekvencia tartományának megválasztásával határozható meg a kívánt vizsgálati mélység (0,1...1 mm).

Miután a Barkhausen-zaj a mindenkori feszültségállapottal függ össze, ezért alkalmazható gyártási maradófeszültségek, hegesztési – szerelési szerkezeti feszültségek (7. ábra) mérése [6]. Ugyanazon pontokban végzett ismételt mérésekkel alkalmas technológiai folyamatok okozta feszültség változások vizsgálatára éppúgy, mint feszültségcsökkentő eljárások ellenőrzésére. A feszültség változások jellegének vagy a feszültségmaximumok he-

lyének meghatározása kalibrálást sem igényel (8. ábra).

Kvázisztatikus feszültségváltozások felhelyezett mérőfejekkel, többszertornás vagy multiplex módon vizsgálhatók.

A Barkhausen-zaj frekvencia spektrumának vizsgálata lehetővé teszi a síkbeli feszültség állapot mélységi változásainak vizsgálatát is néhány tized mm-ig. Ez felületalakító eljárások (köszörülés, görgőzés, lézeres vagy elektronsugaras átolvasztás stb.) hatásának tanulmányozására ad lehetőséget.

Fáradás: változó mikroszerkezet, változó feszültség állapot

A vizsgálati eljárás legtöbbször ígérő területe a fáradási folyamat, a várható élettartam meghatározása. Fizikai alapja, hogy egy adott igénybevételnek leginkább megfelelő alaktrész jellemző mikroszerkezettel és maradófeszültséggel rendelkezik. Újkori állapotukban végzett mérések ezért összefüggnek várható élettartamukkal, míg a fáradás folyamata a végbemenő szerkezet- és feszültségváltozások miatt válik mérhetővé [7]. A General Electric a mérési eljárást közel két évtizede alkalmazza turbinalapátok és egyéb repülőgépkomponensek minősítésére [8].

Összefoglaló helyett

A vizsgálati eljárás egy a sok roncsolásmentes módszer közül. Bár a jelenséget a század elején ismerték fel Barkhausen, ipari alkalmazásáról csak a 70-es évektől beszélhetünk. Jelentősége elsősorban a (maradó) feszültség mérésben nőtt meg, ahol más roncsolásmentes eljárásokhoz (mágneses anizotrópia mérés, ultrahang sebesség mérés stb.) képest több előnyös tulajdonsággal bír. S egyre több helyen ismerik fel, hogy a késztermék (maradó) feszültség állapotának ismerete a terhelhetőség ismeretét is jelenti...

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki mindazon kollégáknak, gyakorló mérnököknek és kutatóknak, akik a mérési feltételek biztosításával, problémák felvetésével és a megoldásukhoz nyújtott segítségükkel az elmúlt évek során hozzájárultak a vizsgálati eljárás alkalmazási területének szélesítéséhez.

911 026 008

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] SÄYNNÄJÄKANGAS, S.: Statistical properties of magnetization discontinuities in technical steels. IEEE Trans. Mag. Vol. MAG-10, No. 1 (1974) pp. 39-43.
- [2] RANJAN, R. et al.: Grain size measurement using magnetic and acoustic Barkhausen noise. J. Appl. Phys. Vol. 61/8 (1987) pp. 3199-3201
- [3] KAMEDA, J. et al.: Nondestructive evaluation of steels using acoustic and magnetic Barkhausen noise – I. Effect of carbide precipitation and hardness. Acta Metall. Vol. 35, No.7 (1987) pp. 1515-1526.
- [4] DEGNER, W.: The determination of microhardness and residual stress of machined ferromagnetic components by using the Barkhausen effect. CIRP Ann. 29 (1980) No.1. pp. 403-408.
- [5] FURUYA, Y. et al.: Material evaluation of spheroidal graphite cast iron by magnetic Barkhausen noise analysis. J. Japan Inst. Metals, Vol. 52, No. 3 (1988), pp. 267-271.
- [6] POSGAY, G. et al.: Examination of residual stresses in welded structures by measuring Barkhausen noise. ÖIAZ, Vol 135 No. 7-8. (1990) pp. 363-366.
- [7] KARJALAINEN, L. P. et al.: Detection of plastic deformation during fatigue of mild steel by the measurement of Barkhausen noise. NDT International Vol. 12 No. 2 (1979), pp. 51-57.
- [8] BARTON, J. R. et al.: Residual stresses in gas turbine engine components from Barkhausen noise analysis. Transactions of the ASME 74, GT-51 (1974).

** Az eljárás alkalmazása körültekintő hitelesítést igényel (a szerkesztő)