

JERZY KWAŚNIEWSKI *

**APPLICATION OF MAGNETIC BARKHAUSEN NOISE MEASUREMENTS TO FLOW
DETECTION IN FERROMAGNETIC ELEMENTS USED IN VERTICAL TRANSPORT SYSTEMS**

**WYKORZYSTANIE SZUMÓW BARKHAUSENA DO DEFEKTOSKOPII ELEMENTÓW
FERROMAGNETYCZNYCH STOSOWANYCH W TRANSPORCIE PIONOWYM**

The paper discusses the Barkhausen noise measurements as a potential tool for inspection of brake discs in hoists and elevators and other solid ferromagnetic elements. Defects arising from exploitation, such as microcracks, have a strong impact on transport safety. Digital method of pulse counting as well as the statistic analysis of Barkhausen noise may be used for inspection, at the same time providing the required safety features.

Key words: diagnosis, magnetic inspection, signal analysis, measurements.

Artykuł przedstawia zastosowanie szumów Barkhausena w diagnostyce litych elementów ferromagnetycznych na przykładzie tarczy hamulców urządzeń wyciągowych, elementów konstrukcyjnych klatek i obręczy kół kolejowych, które są szczególnie narażone na występowanie mikropęknięć. Określono ilościowo wpływ wielkości pęknięć na parametry statystyczne szumów Barkhausena. Metoda badań może być stosowana w diagnozowaniu (wykrywaniu mikropęknięć) w różnych innych litych elementach ferromagnetycznych stosowanych w różnych gałęziach przemysłu.

Istota podjęcia tematyki była efektem wielu napływających informacji związanych z problemami transportu szynowego węgla kamiennego i brunatnego (mikropęknięcia w obręczach kół kolejowych stosowanych zarówno w transporcie wewnętrznym kopalni, jak i na terenie całego kraju), jak również z pojawiającymi się mikropęknięciami tarcz hamulcowych.

Spotykane uszkodzenia kwalifikowane są w skali makro i mikro. Do wykrywania wad makroskopowych takich, jak np. wtrącenia niemetaliczne, pęcherze powietrzne, można używać ultradźwięków. Skomplikowane staje się wykrycie tych wad w warstwie przypowierzchniowej na wszystkich kształtowych powierzchniach jak również wad mikroskopowych związanych np. z zawalcowaniem materiału, mikropęknięciami.

Efekt Barkhausena związany jest ze skokowymi zmianami lokalnego namagnesowania elementu ferromagnetycznego. Zmiana struktury domenowej magnesowanej obryzki powoduje przede wszystkim przemieszczenie ścian Blocha i obrót domen magnetycznych. Przemieszczanie ścian domenowych jest blokowane przez niejednorodności struktury krystalograficznej (dyslokacje, defekty kryształów, niejednorodności materiału), jak również nieciągłości materiału (wtrącenia, pęknięcia). Spowodowana tym nieciągła struktura domenowa wywołuje na badanej powierzchni lokalne zaburzenia indukcji, wykrywane specjalnymi układami pomiarowymi.

Pojawiające się w procesie eksploatacji mikropęknięcia są jednym z najtrudniejszych defektów do diagnozowania. Geneza ich powstawania jest niejednokrotnie wynikiem różnych zdarzeń towarzyszących procesowi produkcji stali, którą wykorzystuje się na te elementy, procesowi przeróbki plastycznej półwyrobu, jak również procesowi zużycia.

Badania laboratoryjne przeprowadzono na próbkach materiału posiadających różne mikropęknięcia. Dla określenia ich wielkości poddano próbki badaniom penetracyjnym. Za pomocą aparatury wykorzystującej zjawisko Barkhausena można przeprowadzić analizę metodą analogową, polegającą na wyznaczeniu parametrów statystycznych sygnału szumu lub metodą cyfrową polegającą na zliczaniu impulsów. Przy ruchowych badaniach na rzeczywistych obiektach odległość między powierzchnią badanego elementu a sondą pomiarową może się zmieniać w granicach do 0,8 mm. Warunek ten narzuca konieczność korzystania z metody cyfrowej i specjalnych głowic pomiarowych z pomiarem warunków magnesowania, przy których wpływ oddalania przetwornika od powierzchni do około 1 mm można pominąć (błąd metody nie przekracza 1%). Metoda ta jest dokładniejsza i mniej wrażliwa na zakłócenia. W badaniach laboratoryjnych próbek ferromagnetycznych z użyciem metody cyfrowej wykorzystano przyrząd Thomas-Hist przeznaczony do wyznaczania histogramów gęstości występowania impulsów Barkhausena w połączeniu z głowicą z ciąglą kontrolą warunków magnesowania. Podczas prób wykonywanych na zamodelowanych próbkach materiału zmieniano odległość głowicy pomiarowej od powierzchni materiału w granicach 0—0,3 mm, rejestrując przebieg szumów Barkhausena oraz zliczając impulsy w miejscu występowania pęknięcia jak również obok uszkodzenia. Uzyskane wyniki dają jednoznaczną informację o występowaniu mikropęknięć. Wstępne badania nad możliwością wykorzystania metody cyfrowej w diagnozowaniu mikropęknięć wykazują jej przydatność, ale również celowość prowadzenia dalszych prac nad uniezależnieniem wskazań od odległości głowicy od badanej powierzchni.

Słowa kluczowe: diagnostyka, badania magnetyczne, analiza sygnałów, pomiary.

1. Introduction

The paper discusses some applications of magnetic Barkhausen noise (MBN) as a tool for inspection of solid, ferromagnetic elements such as brake discs in hoisting machines, structural elements of elevator cages and railway wheel tires. These are the spots where microcracks are mostly found. The influence of crack size on statistical parameters of Barkhausen noise was quantified. This technique can be used to examine solid ferromagnetic elements for defects. This issue was brought forward as

we received information from coal mining industry relating to the some problems they had with railway transport (occurrence of microcracks in railway wheel tires used in the transport systems in the mines and all over the country), also the occurrence of microcracks in brake discs.

These defects can be considered in terms of macroscale and microscale. Macroscale defects, such as non-metallic inclusions or presence of air bubbles, can be detected using ultrasonic techniques. It is extremely difficult, though, to detect these flaws in sub-surface in all treated and worked surfaces, as well as micro-flaws such as: cold shuts or microcracks.

2. Applications of MBN to detection of discontinuities

The Barkhausen effect consists of discontinuous changes of local magnetic intensity of a ferromagnetic element [P i e c h, 1998]. As the result of sudden changes of the domain structure of a magnetised ring, the domain walls move and magnetic domains revolve. Dislocation of domain walls is hindered by non-homogeneities of crystal structure, such as dislocations, crystal defects, material non-homogeneity as well as discontinuities (inclusions, cracks). Thus produced discontinuous domain structure gives rise to local disturbances of induction on a tested surface, which may be detected using specialised measuring circuits. The external magnetic field causes the change of magnetic energy in the neighbouring domains producing pressure P at the boundary. Pressure per unit area of the boundary zone is given by the formula:

$$P = \alpha H J \cos \varphi \quad (1)$$

where:

- H — intensity of the external magnetic field,
- J — domain magnetisation vector,
- α — constant depending on the type of boundary between the domains,
- φ — angle between H and the sum of vectors $J_1 - J_2$ of the neighbouring domains.

Pressure P is balanced by the surface energy of the domain wall E_d per unit area. This energy depends, though not exclusively, on structural defects and non-metallic inclusions. It can be defined as:

$$E_d = 2\pi(A \cdot K/a)^{1/2} \quad (2)$$

where:

- A — constant of integral,
- K — constant of magnetic-crystal anisotropy,
- a — constant of the crystal lattice.

Acting upon the domain boundaries, the pressure P moves the Bloch walls to the position of the domain wall x (along the assumed direction of propagation), where the pressure and the derivative of the function E_d should balance.

$$P = dE_d/dx \quad (3)$$

Comparison of (1) and (2) yields the following relationship:

$$H(x) = \frac{I}{\alpha \cdot J \cdot \cos \varphi} \cdot \left. \frac{dE_d}{dx} \right|_x \quad (4)$$

related to the external magnetic field causing the Barkhausen jumps. Defects of the material structure produce local barriers of potentials. These barriers hinder smooth magnetisation of elements magnetised by external field.

3. The effects of microcracks on statistical parameters of Barkhausen noise

Microcracks appearing when the given element of already in operation are most difficult to detect. They may be the result of untoward conditions during steel manufacture and plastic working processes, and finally they may be the consequence of wear and tear.

Laboratory tests were run on several specimens having various microcracks. To determine the size of those cracks, the specimens were first subjected to liquid-penetrant inspection. Thus obtained images are presented in Fig. 1.

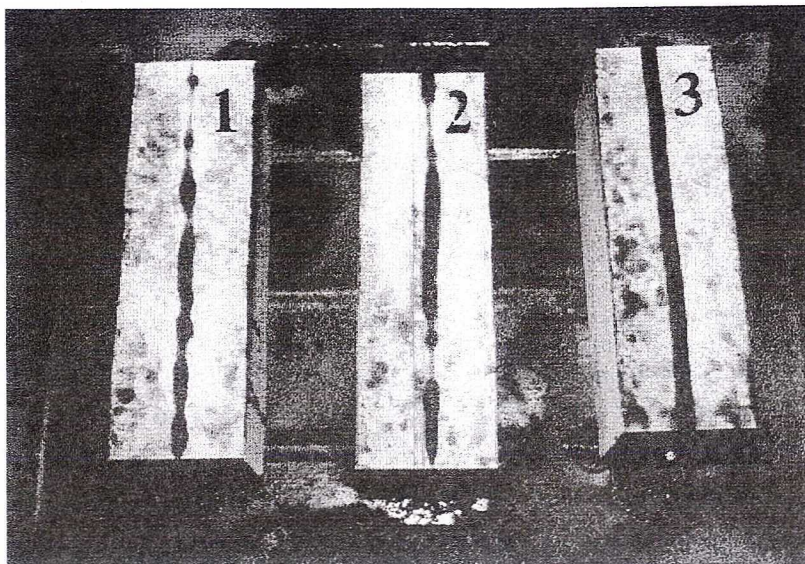


Fig. 1. Images obtained from liquid-penetrant inspection of selected specimens

These images were then compared with actual microcrack width measured at those cross-sections where the MBN measuring apparatus was applied. The microcracks had the following parameters:

Specimen 1 — depth: 7.5 mm; crack width: 0.08 mm.

Specimen 2 — depth: 7.0 mm; crack width: 0.07 mm.

Specimen 3 — depth: 4.5 mm; crack width: 0.05 mm.

MBN measurements were run at the constant distance from the tested surface and the constant value of magnetising current using the converters processing the changes of statistical parameters of Barkhausen noise, being a stochastic process.

MBN was recorded at the spots where microcracks occurred and in the direct vicinity (background signal). Fig. 2 presents the MBN voltage patterns and histograms obtained from testing the standard specimen and the one with microcracks.

Statistical parameters of recorded MBN signals are summarised in table.

The last three parameters were further analysed. The relationship between the absolute error (computed for each background and defect signal) and the size of the defect area is provided in Fig. 3.

It is reasonable to suppose basing on those characteristics that the defects are best seen through the median value of the absolute deviation and its average value. Accordingly, these parameters can be made use of to devise a MBN measuring system.

These results were obtained in MBN measurements using a measuring head with a contact coil, which requires little energy to re-magnetise the tested material whilst keeping at a fixed distance from the surface. Magnetising conditions depend on the size of the measuring opening and material roughness and purity. The effects of surface quality could be compensated by measurements of background signals. Besides, because of coil feedback with the magnetic flux, components induced by magnetising current harmonics in the measuring signal are generated. Attempts were therefore made to filter the measuring signal using wavelet analysis, which may at

TABLE

Statistical parameters	Defect 1		Defect 2		Defect 3	
	Back-ground	Defect site	Back-ground	Defect site	Back-ground	Defect site
Mean value	0,0008	-0,01	-0,028	-0,021	-0,02574	0,01328
Median	0,0024	-0,0073	-0,0048	-0,07	0,002441	0,0317
Modal value	0,1654	-0,1678	0,042	0,059	0,1654	0,1654
Maximal value	4,998	4,998	4,998	4,79	4,998	4,998
Minimal value	-5	-5	-4,592	-5	-5	-5
Range	9,998	9,98	9,59	9,79	9,998	9,998
Standard deviation	0,8696	1,12	0,93	1,14	0,9716	1,152
Median value of the absolute deviation	0,1245	0,1978	0,14	0,22	0,1733	0,2319
Mean absolute deviation	0,4576	0,62	0,52	0,639	0,548	0,66

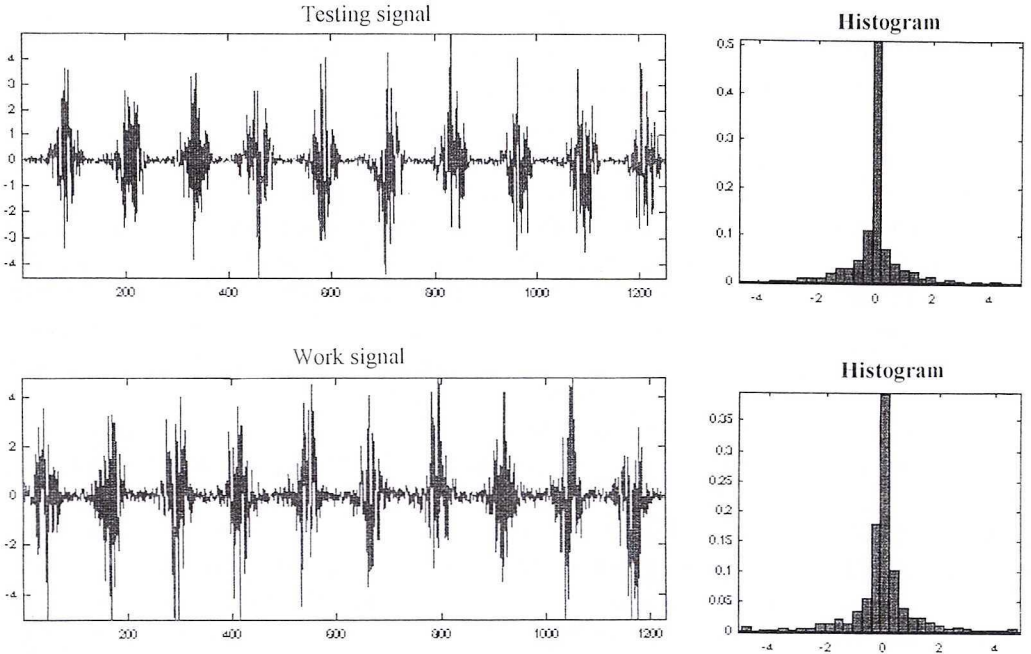


Fig. 2. MBN voltage patterns from specimen testing

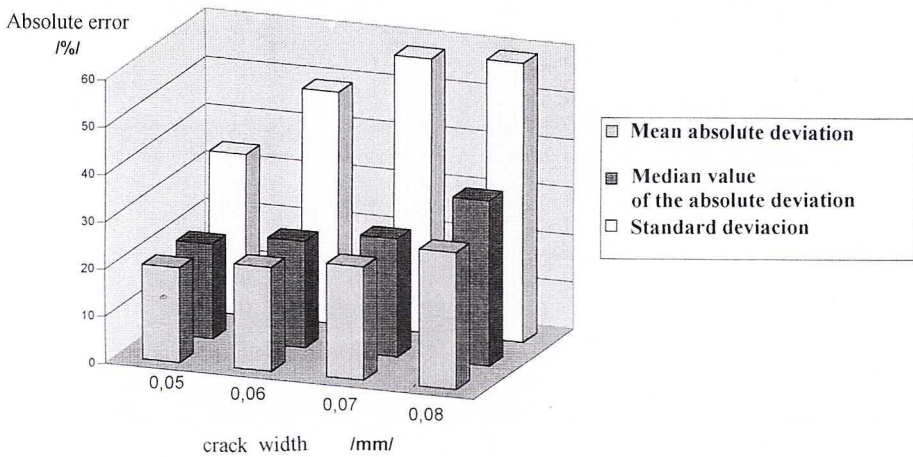


Fig. 3. Relationship between the defect area (cold shut width) and the absolute error of statistical parameters describing the measuring process

least partly eliminate the problem [Magalas, 1998]. The technique consists of eliminating the natural noise of the measuring circuit and the magnetising current component from the signal.

MBN measuring systems can be used in analogue analyses determining the statistical parameters of the noise signals, or for digital analyses involving pulse counting. In tests involving motion, the distance between the surface of the tested element and the measuring probe may vary by no more than 0.8 mm. Thus it is necessary to apply digital techniques and make use of special heads enabling the measurements of magnetisation conditions under which the effects of converter's moving away from the tested surface to the distance of 1 mm could be omitted for convenience (the error involved will be less than 1%). This method is more precise and less sensitive to disturbances. Laboratory tests of ferromagnetic specimens using the digital method were run using Thomas-Hist device for determining the histograms of Barkhausen pulse density, equipped with a head providing constant monitoring of magnetising conditions. During the tests run on specimens shown in Fig. 3 the distance between the head and the tested surface ranged from 0—0.3 mm. MBN waveforms were duly registered and pulses were counted at the spots the cracks occur and in the direct vicinity. Thus obtained results clearly indicate the occurrence of microcracks. Preliminary evaluation of the digital technique as a potential tool for flaw detection shows the adequacy of the method, however it will still merit a most rigorous research so that the readouts should become independent of the distance between the head and the tested surface.

Artykuł został opracowany w ramach pracy własnej Katedry Transportu Linowego nr 10.10.130.641.

REFERENCES

- M a m a l a s L., M a l i n o w s k i T., 1998. The Wavelet Transform — A New Method to Analyze of the Barkhausen Effect. *Inżynieria materiałowa*, 3.
P i e c h T., 1998. *Badania magnetyczne*. Warszawa.

REVIEW BY: PROF. DR HAB. INŻ. JAN ADAMCZYK, KRAKÓW

Received: 01 December 1999.