

Bolesław Augustyniak

**WYNIKI PRAC WŁASNYCH NAD ROZWOJEM
NOWYCH NIENISZCZĄCYCH METOD BADAŃ
FERROMAGNETYCZNYCH MATERIAŁÓW
KONSTRUKCYJNYCH**

1/1996

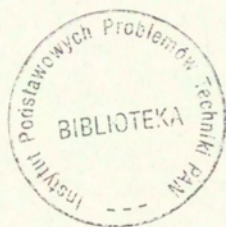
P. 269



WARSZAWA 1996

<http://rcin.org.pl>

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 18 grudnia 1995 r.



56571



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Nakład 100 egz. Ark. wyd. 0,5 Ark. druk. 1,0
Oddano do drukarni w lutym 1996 r.

Wydawnictwo Spółdzielcze sp. z o.o.
Warszawa, ul. Jasna 1

WYNIKI PRAC WŁASNYCH NAD ROZWOJEM NOWYCH NIENISZCZĄCYCH METOD BADAŃ FERROMAGNETYCZNYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH

STRESZCZENIE

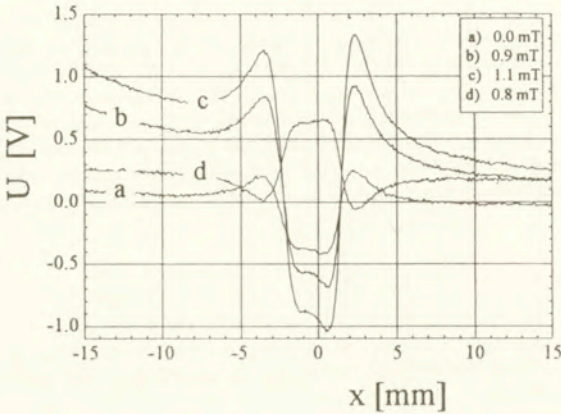
W artykule podano przykłady wyników badań prowadzonych ostatnio w Katedrze Fizyki Ciała Stałego naszego Wydziału, mających na celu rozwijanie nowych metod badań nieniszczących wykorzystujących specyficzne własności ferromagnetyczne materiałów konstrukcyjnych. Badania te dotyczyły: (1) - defektoskopii wad, opartej o pomiar natężenia resztkowego magnetycznego pola rozproszonego, (2) - oceny poziomu naprężeń pozostających w konstrukcjach spawanych z wykorzystaniem polowego efektu Barkhausena, (3) - oceny stopnia degradacji elementów konstrukcji za pomocą polowego efektu Barkhausena oraz (4) - oceny rozkładu naprężeń wewnętrznych za pomocą magnetycznego efektu Barkhausena.

WSTĘP

Ustawiczny rozwój badań nieniszczących jest wymuszany przez wciąż rosnące wymagania technologiczne przemysłu. Opisane tu wyniki dotyczą badań własnych o charakterze użytkowym, gdyż są one ukierunkowane na rozwijanie nowych metod badań nieniszczących. Prowadzone prace bazują na wynikach prowadzonych od wielu lat na naszym Wydziale badań podstawowych dotyczących głównie własności magnetycznych ferromagnetyków [1-9]. Rozwijane przez nas metody badań nieniszczących zaliczyć należy do szeroko pojmowanych metod magnetycznych [14] przy czym cechują się one tym, iż mogą być zastosowane do grupy materiałów ferromagnetycznych, ponieważ bazują na wykorzystaniu właściwych tylko dla tych materiałów takich zjawisk fizycznych jak histereza magnetyczna (a w tym efekt Barkhausena) i magnetostrykcja oraz związany z nią efekt wpływu naprężeń na proces magnesowania. Pierwsza z czterech opisanych tu metod dotyczy w zasadzie defektoskopii (wyszukiwania wad) natomiast pozostałe trzy metody mają charakter strukturoscopowy, gdyż dotyczą oceny stanu naprężeń lub zmian w mikrostrukturze badanego materiału. Przypisywanie przedstawionym tu opracowaniom cechy nowości jest uzasadnione tym, iż w każdej z czterech metod zastosowano istotnie nowe - w stosunku do stosowanych w praktyce przemysłowej metod - rozwiązania albo w zakresie metodyki pomiaru (metoda 1 i 2), albo w zakresie wykorzystania zjawisk fizycznych (metoda 3 i 4). Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie zwięzłej informacji o wynikach tych badań przy czym ograniczono się do podania podstawowych wiadomości o zastosowanych rozwiązaniach i do pokazania takich charakterystycznych wyników, które pozwolą zapewne na zapoznanie się uzyskanymi parametrami technicznymi każdej z tych metod. Informacja ta jest adresowana głównie do osób zainteresowanych rozwojem i aplikacją w krajowym przemyśle maszynowym i w energetyce opisanych tu metod badań nieniszczących.

I. DEFEKTOSKOPIA ZA POMOCĄ MAGNETYCZNEGO POLA ROZPROSZONEGO

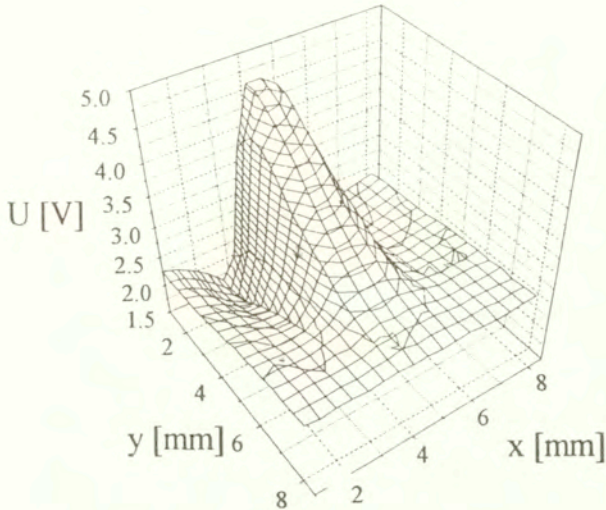
Pomiar pola rozproszonego przy powierzchni konstrukcji ze stali ferromagnetycznej pozwala na ujawnienie wad powierzchniowych i podpowierzchniowych, gdyż wady te są źródłem specyficznych anomalii w rozkładzie przestrzennym indukcji magnetycznej. Jest to technika konkurencyjna do metody proszkowej [14], gdyż umożliwia także ilościową ocenę wielkości wady. Technika pomiaru pola rozproszonego wokół konstrukcji rozwinęła się w oparciu o wyniki symulacji komputerowych rozkładu pól magnetycznych a także dzięki postępowi w konstrukcji detektorów [11,12]. Opracowany ostatnio przyrząd jest przeznaczony głównie do detekcji wad przy wykorzystaniu namagnesowania resztkowego stalowych konstrukcji przemysłowych. Detekcja wady za pomocą tego przyrządu jest ułatwiona gdyż, dzięki zastosowaniu głowicy wielokanałowej, polega na ustaleniu takiego położenia sondy, w którym sygnał wyjściowy ma wartość ekstremalną. Umożliwia to także automatyzację procesu detekcji.



Rys. 1. Sygnał wyjściowy defektoskopu dla różnych stanów namagnesowania próbki: (a-c) - wzrost namagnesowania, (d) namagnesowanie resztkowe.

Fig. 1. Flow meter output signal for different sample magnetization stage: (a-c) - increase of magnetization, (d) - residual magnetization

Rysunek 1 ilustruje wpływ namagnesowania próbki wzorcowej ze szczeliną na wielkość sygnału wyjściowego tego przyrządu. Rysunek pokazuje dla czterech stanów namagnesowania zmiany sygnału U miernika w funkcji położenia głowicy nad powierzchnią próbki, w której wydrążono szczelinę o szerokości 0.2 mm i głębokości 2 mm w kierunku prostopadłym do powierzchni. Próbkę magnesowano w kierunku prostopadłym do szczeliny. Stopień namagnesowania określono poprzez wartość składowej indukcji B_p prostopadłej do powierzchni w miejscu wady. Wartości B_p podano na rys. 1. Natężenie pola magnetycznego w próbce była mniejsze od 300 A/m. Wzrost magnesowania prowadzi do wzrostu amplitudy ekstremum napięcia U , które obserwuje się w okolicy wady (wykresy od (a) do (c)). Należy zwrócić tu uwagę na charakterystyczną zmianę przebiegu tej funkcji dla stanu namagnesowania resztkowego (wykres (d)). Minimum sygnału U zmienia się w maksimum na skutek zwrotu na przeciwny kierunku składowej indukcji B równoległej do powierzchni próbki.



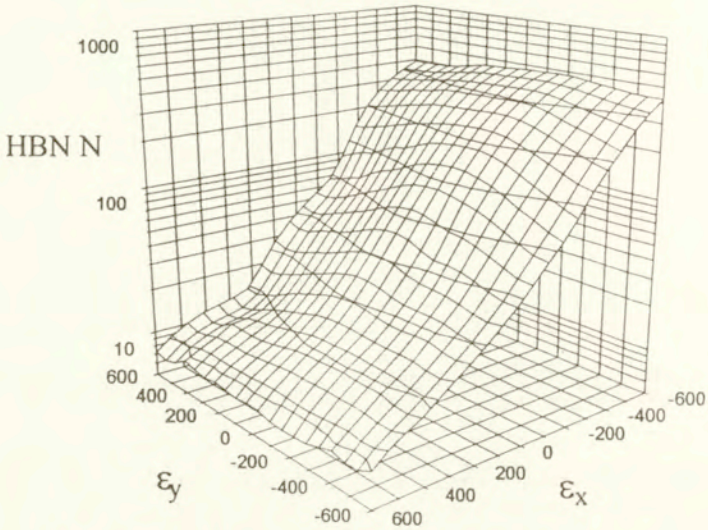
Rys. 2. Rozkład sygnału z defektoskopu nad płytą ze szczeliną w kierunku osi y .
 Fig. 2. Flow meter output signal over the plate with the crack in y direction

Drugi przykład, który pokazano na rys. 2, dotyczy detekcji czoła pęknięcia propagującego w płycie pod wpływem naprężeń przemiennych. Pęknięcie to rozwija się w kierunku y wzdłuż linii o współrzędnej $x = 5.5$ mm. Próbkę była lekko magnesowana w kierunku osi x (poziom natężenia pola magnetycznego w próbce oceniono na 100 A/m). Rysunek ujawnia wyraźne maksimum sygnału nad linią pęknięcia. Narastanie maksimum sygnału na odcinku kilku mm wynika ze wzrostu składowej B_p wraz z narastaniem rozwarcia szczeliny. Przedstawione wyniki świadczą o zasadności wykorzystania tego typu miernika do detekcji wad przy czym na podkreślenie zasługuje możliwość ilościowego opisu sygnału, co pozwala ocenić także wielkość wady.

2. POMIAR NAPRĘŻEŃ POZOSTAJĄCYCH W ZŁĄCZACH SPAWANYCH

Pomiar naprężeń pozostających jest zagadnieniem o bardzo dużym znaczeniu praktycznym. Informacja o tych naprężeniach ułatwia np. kontrolę procesów spawania a także ocenę stopnia zagrożenia elementów konstrukcji pracujących w warunkach zmiennego obciążenia. Takim elementami są np. rurociągi w przemyśle energetycznym. Opracowana metoda pomiaru naprężeń oparta jest o wykorzystanie połowego efektu Barkhausena [6]. Ze względu na sprzężenie magnetyczne proces magnesowania a w szczególności efekt Barkhausena zależne są od poziomu naprężeń długozasięgowych [7]. Dla stali obserwuje się wzrost natężenia efektu Barkhausena przy magnesowaniu w kierunku działających naprężeń dodatnich (rozciągających) oraz obniżenie natężenia efektu przy magnesowaniu w kierunku przeciwnym do kierunku rozciągania. W przypadku naprężeń ujemnych (ściskających) relacje te odwracają się, [13].

Każdy typ stali cechuje się specyficzną charakterystyką tego typu [16]. Aby umożliwić badanie dowolnych elementów konstrukcji skonstruowano sondę doczołową z rdzeniem magnesującym typu C z biegunami odległymi o około 15 mm. Sygnał Barkhusena był zbierany z powierzchni około 2 mm² za pomocą cewki z rdzeniem ferrytowym. Skalowanie efektu Barkhusena w funkcji zadanych odkształceń ϵ wykonano dla próbek w kształcie krzyża o szerokości ramion 50 mm stosując metodę gięcia. O czułości metody decyduje dynamika zmian mierzonej wielkości fizycznej. W tym przypadku mierzony parametr, oznaczony jako N , związany był z intensywnością zliczania impulsów efektu Barkhusena.

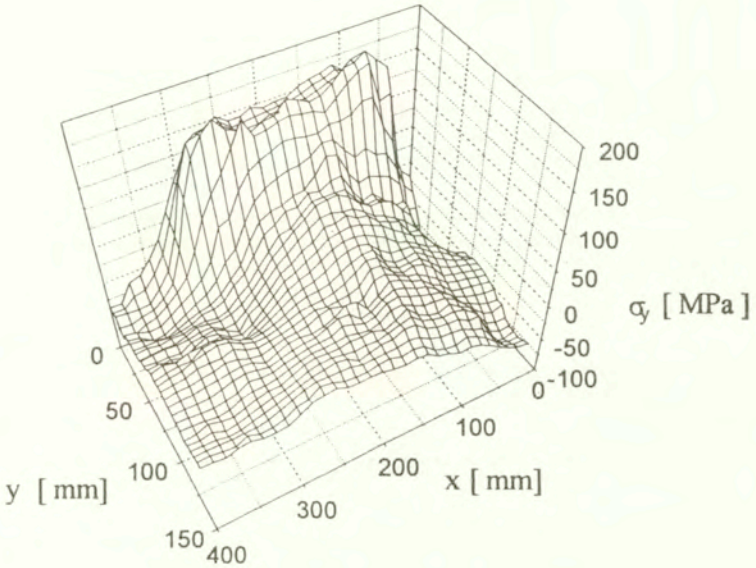


Rys. 3. Funkcja skalowania efektu Barkhusena dla stali St3.

Fig. 3. Barkhausen effect calibration function for St3 steel.

Na rysunku 3 pokazano funkcję $N_x(\epsilon_x, \epsilon_y)$ zmierzoną dla stali St3 (płyta o grubości 6 mm) przy magnesowaniu w kierunku x . Podane wartości odkształceń ϵ_x oraz ϵ_y dotyczą pomiarów po przeciwnej stronie próbki. Podkreślić należy dużą dynamikę zmian parametru N_x , jego wartości wzrastają kilkadziesiąt razy na skutek zmian ϵ_x w przedziale $\pm 600 \cdot 10^{-6}$. Zauważyć można wyraźny wpływ odkształceń w kierunku prostopadłym (ϵ_y) na poziom N_x . Zmiany parametru N mają częstokroć charakter niemonotoniczny: dla stali St3 obserwuje się jego maksimum w centralnej części zakresu zmian parametru ϵ_y . Taka niejednoznaczność w charakterze zmian funkcji skalowania nie stanowi przeszkody w ocenie poziomu odkształceń, albowiem ocena ta jest oparta o dwa pomiary wykonane dla wzajemnie prostopadłych kierunków i o analogiczną drugą funkcję skalowania $N_y(\epsilon_x, \epsilon_y)$, którą otrzymuje się dla magnesowania w kierunku osi y . W przypadku badania naprężeń w złączach spawanych pomiary natężenia efektu Barkhusena wykonuje się w kierunku równoległym i prostopadłym do osi spoiny.

Na podstawie dwóch tak zmierzonych wartości parametru N wyznacza się z funkcji N_x i N_y poziomy odkształceń ϵ_x i ϵ_y , a następnie - poprzez transformację typu $\sigma_x = E(\epsilon_x + \nu \epsilon_y)/(1-\nu^2)$ oraz $\sigma_y = E(\epsilon_y + \nu \epsilon_x)/(1-\nu^2)$ - wylicza się szukane poziomy naprężenia σ oraz σ . W tych transformacjach E to moduł Younga a ν - współczynnik Poissona.

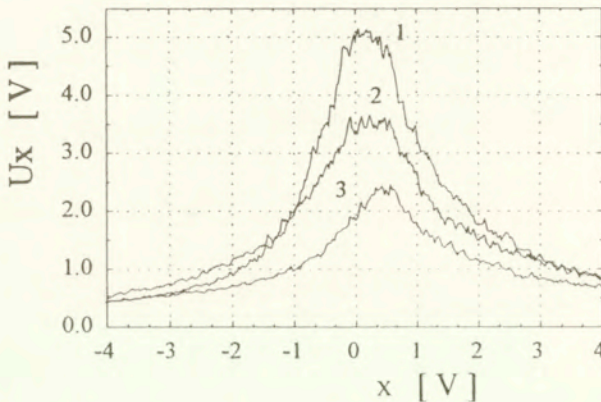


Rys. 4. Rozkład naprężeń w kierunku prostopadłym do spoiny
 Fig. 4. Distribution of residual stress perpendicular to the weld seam

Rysunek 4 stanowi ilustrację zmierzonego tą metodą rozkładu naprężeń działających w kierunku prostopadłym do spoiny w płycie stali St3. Płytę o wymiarach $x = 400$ mm i $y = 150$ mm spawano wzdłuż krawędzi x na odcinku między 50 mm i 300 mm. Spoina jest po przeciwnej stronie płyty pokazanej na rys. 4. Rysunek ten ujawnia strefę naprężeń dodatnich w centralnej części płyty przy czym wyróżnić można wyraźne maksimum wzdłuż spoiny ($\sigma = +170$ MPa) odsunięte od osi spoiny o około 20 mm. Obszary o naprężeniach ujemnych ($\sigma = -70$ MPa) występują na krańcach spoiny oraz na brzegach płyty. Opracowana metoda oceny naprężeń cechuje się następującymi zaletami: dobrą rozdzielczością oceny poziomu naprężeń (błąd względny oceny odkształceń jest na poziomie 1 % oraz około 5 % dla naprężeń) a także bardzo dobrą rozdzielczością przestrzenną, co wynika z zastosowania sondy o polu detekcji sygnału Barkhausena około 2 mm^2 . Taka rozdzielczość umożliwia wykorzystanie tej metody do badań rozkładu naprężeń w strefie wpływu ciepła, gdzie występują gradienty naprężeń pozostających.

3. OCENA STOPNIA DEGRADACJI ELEMENTÓW KONSTRUKCJI

Postępujący proces degradacji własności mechanicznych stalowych konstrukcji wymusza ich okresowe kontrole w celu określenia stopnia degradacji i tzw. zapasu właściwości. Badania prowadzone w dotychczasowy sposób są czasochłonne a tym samym i kosztowne [15]. Konieczne są zatem wysiłki na rzecz opracowania nowych tanich i prostych w użyciu metod. W przypadku materiałów ferromagnetycznych zasadne jest oparcie takiej metody o pomiar efektu Barkhausena, który jest istotnie uzależniony od mikrostruktury. Poniżej podane zostaną informacje o wynikach wstępnych prac mających na celu weryfikację słuszności tej tezy. Badano wycinki z kilku rurociągów ze stali 15HM po różnym czasie eksploatacji (od 4 tys. do 200 tys. godzin). Wyniki pomiarów efektu Barkhausena wykorzystano do uszeregowania próbek pod kątem zmian jednego z wybranych parametrów tego efektu. Umożliwiło to ustalenie pewnej skali stopnia degradacji dla tej stali opartej o pomiar wybranego parametru. Efekt Barkhausena mierzono za pomocą sondy doczołowej na powierzchniach przekrojów prostopadłych do osi rury przy czym pomiary wykonywano dla dwóch kierunków: równoległego (kierunek r) i prostopadłego (kierunek p) względem promienia rury.



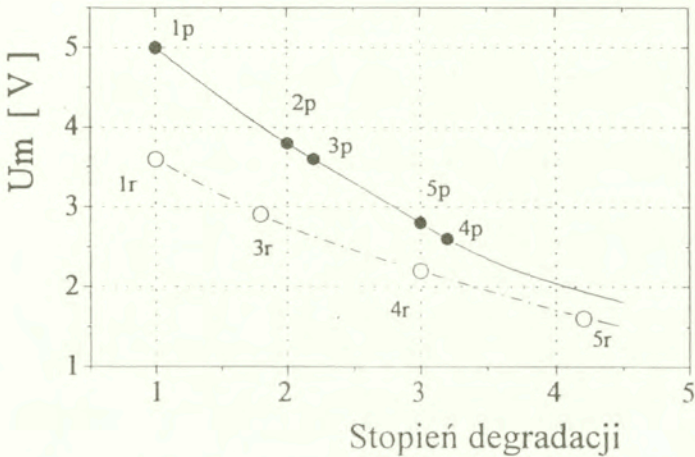
Rys. 5. Natężenie efektu Barkhausena w funkcji napięcia generatora dla 3 próbek o różnym stopniu degradacji.

Fig. 5. Barkhausen effect intensity as function of tension generator for 3 samples in different degradation state

Rysunek 5 pokazuje fragmenty pętli histerezy natężenia efektu Barkhausena dla 3 próbek znajdujących się w różnym stadium degradacji. Parametr x jest napięciem generatora sterującego prądem elektromagnesu. Wykresy dotyczą środkowego wycinka pętli zmian parametru x .

Rys. 5 ujawnia, że natężenie efektu Barkhausena zmienia się w stopniu istotnym dla tych próbek. wysokość maksimum dla próbki (3) jest około 2 razy mniejsza niż maksimum dla próbki (1). Obniżaniu maksimum towarzyszy systematyczne przesunięcie położenia tego maksimum w kierunku większych wartości parametru x .

To obniżanie natężenia efektu Barkhausena a także przesuwanie położenia maksimum świadczą o wzroście twardości magnetycznej materiału. W przypadku badanych próbek ze stali 15HM ten wzrost twardości magnetycznej jest spowodowany głównie wzrostem koncentracji wydzieleni faz twardych magnetycznie wewnątrz obszaru domen ferromagnetycznych. Stwierdzone zmiany polegały na wzroście wydzieleni cementytu i węglików w bainicie i w ferrycie a także na wydzielaniu faz twardych także na granicach ziarn tej stali. Degradację struktury oraz jej stopień oszacowano na podstawie analizy kształtu i wielkości wydzieleni cementytu i wydzieleni węglkowych w ferrycie oraz w bainicie. Oceniano także wielkość ziarn każdego materiału oraz zbadano poziom twardości. To pozwoliło na przypisanie próbkom stopnia degradacji zgodnie z wytycznymi skali wzorców struktury stali 15HM [10] w zakresie od I do IV. Jako parametr opisujący własności magnetyczne przyjęto wysokość maksimum natężenia emisji efektu Barkhausena. Analizowano wysokości tych maksimum dla pomiarów w obu kierunkach p i r . Na rysunku 6 pokazano 2 wykresy utworzone z tych wyników w funkcji przyjętego stopnia degradacji. Wykres górny dotyczy wyników dla kierunku pomiaru p natomiast dolny dla kierunku r . Wartościom parametru U_m dobierano wartość stopnia degradacji tak, aby uzyskać pokazane na rys. 6 dwie funkcje monotoniczne.



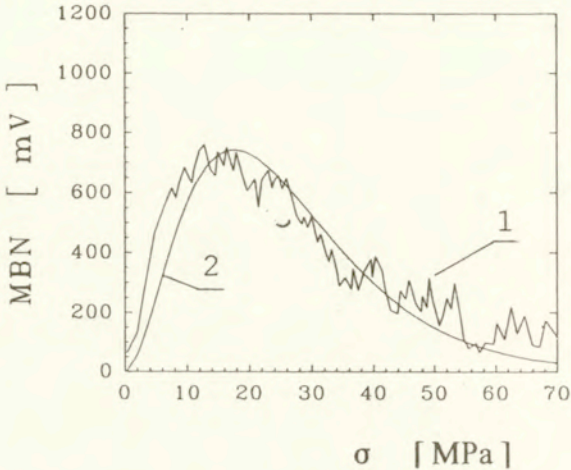
Rys. 6. Skalowanie zależności natężenia efektu Barkhausena od stopnia degradacji dla 5 próbek stali 15HM.

Fig. 6. Barkhausen effect intensity as function of degradation stage of 5 samples of 15HM steel.

Widoczna na rys. 6 systematyczna różnica wartości natężenia efektu Barkhausena dla obu kierunków świadczy o wyraźnej anizotropii własności magnetosprężystych badanych fragmentów rurociągów. Należy podkreślić relatywnie bardzo dużą dynamikę zmian parametru U_m w funkcji przypisanego stopnia degradacji. Parametr ten zmienia się bowiem blisko 3 razy dla zmian stopnia degradacji od I do IV. Te zmiany znacznie przewyższają zmiany zazwyczaj stosowanych parametrów takich jak twardość Vickersa i np. granica plastyczności. Taki wynik uzasadnia kontynuację badań nad tą metodą i jej aplikację np. w przemyśle energetycznym.

4. OCENA NAPRĘŻEŃ WEWNĘTRZNYCH ZA POMOCĄ MECHANICZNEGO EFEKTU BARKHAUSENA

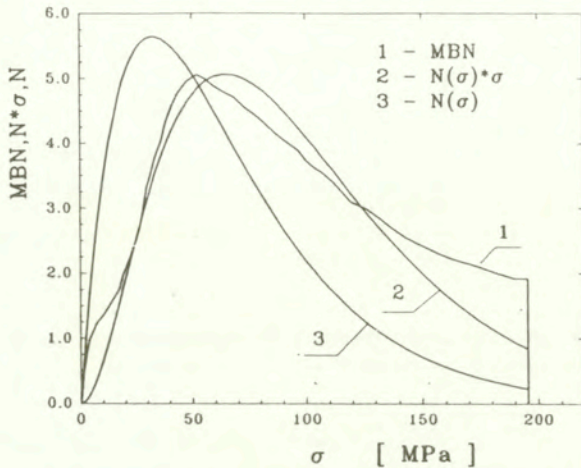
Pojęciem naprężenie wewnętrzne określa się tutaj poziom tych naprężeń lokalnych w obszarze ziarna polikryształu, które związane są z defektami struktury. W przypadku materiałów ferromagnetycznych naprężenia te modyfikują strukturę domenową oraz dynamikę ruchu granic domenowych głównie tzw. "nie-180°". Ruch tego typu granic można wymusić stosując zmienne w czasie naprężenie zewnętrzne [1,7,8]. Wzrost naprężeń zewnętrznych zmienia lokalne warunki kotwiczenia tych granic a skoki tzw. mechanicznego efektu Barkhausena występują wtedy, gdy naprężenia zewnętrzne osiągają poziom porównywalny z naprężeniami lokalnymi [5,7].



Rys. 7. Natężenie mechanicznego efektu Barkhausena dla amorficznego stopu $Fe_{78}Si_{10}B_{12}$: (1) - wynik pomiaru, (2) - funkcja dopasowana.

Fig. 7. Mechanical Barkhausen effect intensity of the amorphous $Fe_{78}Si_{10}B_{12}$ alloy: (1) - experimental plot, (2) - theoretical plot.

Na rysunku 7 pokazano przykładowo wynik badania mechanicznego efektu Barkhausena dla próbki z amorficznego stopu $Fe_{78}Si_{10}B_{12}$. Próbka taśmy o grubości około $30 \mu m$ i szerokości $5 mm$ była naprężana ze stałą szybkością około $10 MPa s^{-1}$, [2]. Wykres (1) ujawnia szerokie maksimum emisji Barkhausena dla naprężeń około $15 MPa$. Natężenie emisji zmniejsza się systematycznie dla większych naprężeń, co świadczy o zmniejszaniu się ilości granic, które są odkotwiczane od lokalnych barier. Wykres (2) na rys. 7 przedstawia funkcję opisującą natężenie mechanicznego efektu Barkhausena w oparciu o model histerezy magnetosprężystej [3,5,9]. Jest to funkcja typu $y = A \cdot \sigma \cdot N(\sigma)$, gdzie σ jest naprężeniem a $N(\sigma)$ jest funkcją rozkładu gęstości prawdopodobieństwa wystąpienia lokalnych barier naprężenia o wartości σ . Dla funkcji rozkładu przyjęto funkcję typu $N(\sigma) = (4 \cdot \sigma / \sigma_i) \cdot \exp(-2 \cdot \sigma / \sigma_i)$, gdzie σ_i jest parametrem opisującym średnią wartość naprężeń wewnętrznych w badanym materiale.



Rys. 8. Emisja mechanicznego efektu Barkhausena stali XC38: (1) - wyniki eksperymentalne, (2) - funkcja teoretyczna natężenia, (3) - funkcja rozkładu naprężeń wewnętrznych.
 Fig. 8. Mechanical Barkhausen effect for XC38 steel: (1) - experimental results, (2) - theoretical fit function, (3) - internal stress distribution function.

Na rysunku 8 pokazano następujący przykład analizy mechanicznego efektu Barkhausena dla stali niskowęglowej typu XC38 (stal francuska) [4]. Dla tej stali maksimum natężenia efektu Barkhausena występuje dla naprężeń około 60 MPa. Wyniki doświadczalne zostały opisane za pomocą funkcji typu y (wykres (2)). Wykres (3) ilustruje natomiast przebieg funkcji $N(\sigma)$. Na podstawie tej funkcji można wyliczyć wartość parametru σ_i . Parametr ten ma wartość 17 ± 3 MPa dla taśmy amorficznej oraz 60 ± 5 MPa dla stali XC38. Istotną zaletą tej nowej metody oceny naprężeń wewnętrznych jest możliwość nie tylko oszacowania wartości parametru σ_i , lecz - co jest szczególnie ważne - także uzyskania pełnej informacji o rozkładzie naprężeń wewnętrznych a znajomość tego rozkładu może istotnie ułatwić ocenę zmian w mikrostrukturze. Wydaje się być zatem uzasadnionym wniosek, iż przedstawiona metoda, oparta o pomiar mechanicznego efektu Barkhausena, powinna być rozwijana w celu jej aplikacji np. podczas kontroli stopnia degradacji fragmentów konstrukcji w trakcie badań ich własności wytrzymałościowych.

UWAGI KONCOWE

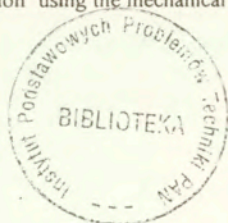
Postęp prac nad rozwojem opisanych wyżej metod badań nieniszczących wymaga ścisłej współpracy z przedstawicielami przemysłu. Stan tych prac jest najbardziej zaawansowany w przypadku metody oceny naprężeń pozostających (metoda 2). Podjęte są już prace nad wdrożeniem metody 2 w przemyśle maszynowym. W przypadku pomiaru pola rozproszonego (metoda 1) - uzyskano pozytywne wyniki badań kontrolnych i opisany przyrząd jest już używany w krajowej energetyce. Rozpoczęto także współpracę z Zakładami Remontowymi Energetyki nad metodą oceny stopnia degradacji (metoda 3).

LITERATURA

- [1] Augustyniak B., Fantozzi G., Vannes A.; *Journal de Phys.* **46** (1985) C10-733.
- [2] Augustyniak B., Małkiński L.; *Akustyka Molekularna i Kwantowa, IPPT*, t.13 (1993) 189.
- [3] Augustyniak B.; *Materials Science Forum*, **119-120** (1993) 559.
- [4] Augustyniak B.; *Proc. XV Conf. Appl. Crystallography, Cieszyn 92*, World Scientific, Singapore, 1993.
- [5] Augustyniak B.; *Emisja akustyczna*, KBN, Warszawa, Pascal Publication, 1994, 417
- [6] Augustyniak B., Chmielewski M., Kielczyński W.; *Materiały XXIV Kraj. Konf. Badań Nieniszczących, Poznań-Kiekrz, PTBN i DT*, 1995, 9.
- [7] Augustyniak B.; *Mater. Konf. Podstawy Fizyczne Badań Nieniszczących, Gliwice, 1995*, Instytut Fizyki, Politechnika. Śląska, 1995, 5.
- [8] Augustyniak B., Degauque J.; *Journ. of Magn. and Magn. Mater.*, **140-144** (1995) 1837.
- [9] Augustyniak B., Chmielewski M.; *Proc. XVI Conf. Appl. Crystallography, Cieszyn 94*, World Scientific, Singapore, 1995, 469.
- [10] Grzegorzewska K., Jędrzejewska J.; *Skale wzorców struktur dla stali 15HM i 10H2M, ZM i LBS, Pruszków*, 1975.
- [11] Jiles D.C.; *NDT International*, **23** (1990) 83.
- [12] Junger M., Brook Ch.; *British Journ. of NDT*, **32** (1990) 513.
- [13] Kwun H.; *Journ. Magn. Magn. Mater.* **49** (1985) 235.
- [14] Pawłowski Z. *"Badania Nieniszczące - Poradnik"*, SIMP, Warszawa, 1984.
- [15] Seyna F., Ginalski J., Skibiński T.; *Dozór Techniczny*, **1** (1995) 6.
- [16] Wojtas A.; *Materiały XXII Konf. Badań Nien.*, Szczyrk 1993, SIMP (1993) 249.

RERESULTS OF THE RECENT PROGRESS IN NEW NDT METHODS OF FERROMAGNETIC MATERIALS

Paper presents recent results of the NDT methods development for the ferromagnetic materials which was performed in Physic Department of Technical University of Gdańsk. Short description as well some significant results are given for the four NDT applications: (1) detection and evaluation of surface and subsurface cracks using residual magnetic field flow meter, (2) - evaluation of residual stresses in welded elements by means of the field Barkhausen effect, (3) - evaluation of microstructure and damage state by means of the field Barkhausen effect and (4) - evaluation of internal stress distribution function using the mechanical Barkhausen effect.



56571