

Zbigniew H. ŻUREK

METODA MAGNETYCZNA OCENY RÓWNOMIERNOŚCI ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ W POŁĄCZENIU WCISKOWYM

Streszczenie. W artykule opisano badania mające na celu wyznaczenie równomierności stanu naprężeń w połączeniu wciskowym. Badania prowadzono za pomocą pomiaru natężenia pola magnetycznego przy powierzchni bocznej zewnętrznego pierścienia stalowego naprężonego od wcisku. Badania magnetyczne zostały wsparte pomiarami tensometrycznymi i symulacjami MES. Wyniki badań przeprowadzonych na modelu połączenia wciskowego potwierdziły użyteczność badań magnetycznych w bezstykowym pomiarze naprężeń w stalach konstrukcyjnych.

MAGNETIC EVALUATION METHOD OF STRESSES DISTRIBUTION IN INTERFERENTIAL CONNECTION

Summary. Article describes research determining uniformity of stresses distribution in interferential connection. These studies were made using measurement of magnetic field intensity at the lateral surface of external steel ring stressed by interference. Magnetic investigations were supported by extensometer measurements and MES simulation. Investigation results, made using interferential connection model, confirmed the usefulness of magnetic research in stress measurement "without contact" of constructional steels.

1. WPROWADZENIE

Połączenia wciskowe stosowane są w montażu elementów lub podzespołów części maszyn. Stan i jakość połączenia wciskowego wpływają na niezawodność i czas życia maszyn. Ocena równomierności rozkładu naprężeń na drodze pomiarów tensometrycznych jest złożona, związana z koniecznością pomiaru odkształceń podczas procesu łączenia i możliwa dla ograniczonej serii badań.

Większość elementów maszyn wykonywana jest z materiałów ferromagnetycznych. Właściwości ferromagnetyków opisane między innymi zależnościami magnetomechanicznymi Joule'a i Villariego umożliwiają bezstykowe badanie naprężeń w materiale [1, 2, 3, 10]]. Badania te polegają na pomiarze natężenia pola magnetycznego [4, 6] przy powierzchni magnesowanego wycinka elementu. Stan naprężeń zmienia przenikalność względną materiału, a tym samym mierzone zewnętrzne natężenie pola magnetycznego [5]. Sposób ten umożliwia automatyzację pomiaru dla dużej serii elementów i jest tani. Jedynym warunkiem, jaki należy spełnić, jest poznanie zależności magnetomechanicznych danego materiału, a w szczególności krzywych pierwszego magnesowania w funkcji obciążeń. Znajomość krzywych magnesowania jest niezbędna w procesie wyznaczania podstawowych parametrów pomiarowych przy-

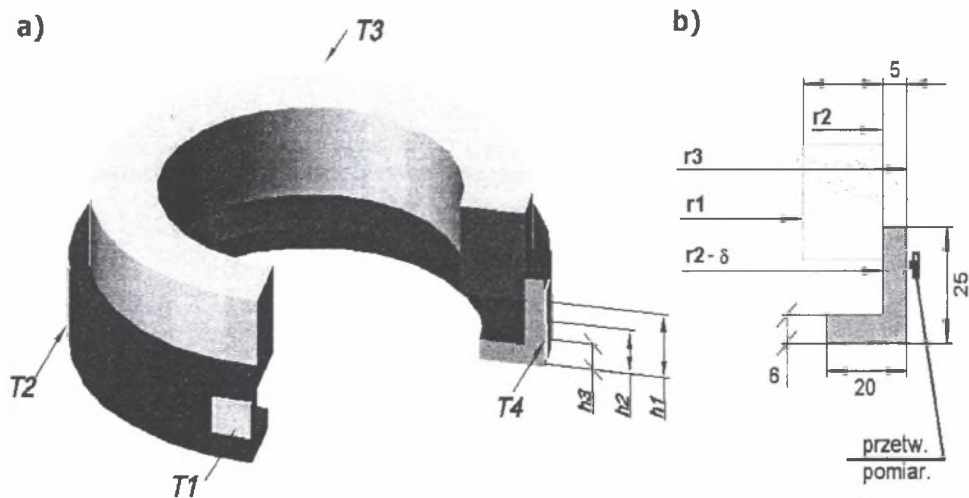
rzędu [8, 11], jak charakterystyka przetwarzania i czułość pomiarowa. Badanie przetworników pomiarowych ze względu na złożoność procesów na drodze przetwarzania sygnału prowadzone jest za pomocą metod numerycznych. Potwierdzono użyteczność programu symulacyjnego 2D FEMM (Finite Element Magnetic Method).

2. EKSPERYMENT BADAWCZY

Ograniczenia związane ze stanowiskiem pomiarowym i oprzyrządowaniem pomiarowym narzuciły kształt, wymiar elementu oraz metodykę pomiaru. Przyjęto pierścień stalowy zakończony powierzchnią umożliwiającą jego mocowanie na obrotowej tarczy (paramagnetyk) stanowiska pomiarowego. W badaniach zapewniono powtarzalność pomiaru przez stałość wzajemnego położenia elementu w stosunku do przetwornika pomiarowego, jak i miejsca początku pomiaru. Niezbędność powtarzalności pomiaru wynikała z konieczności demontażu pierścienia pomiędzy kolejnymi etapami badań związanymi z pomiarami natężenia pola magnetycznego, pomiarami tensometrycznymi oraz wtlaczaniem pierścienia wewnętrznego.

2.1. Projekt połączenia wciskowego

Badanie połączenia wciskowego przeprowadzono na pierścieniu o średnicy 143 mm. Wymiary, przekrój oraz rozmieszczenie tensometrów pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Badany element

Fig. 1. The object of research

2.2. Założenia

Eksperyment dotyczył materiału, zakresu naprężeń i metodyki pomiaru [9]. Badania te stanowiły pierwszy etap eksperymentu związanego z wykorzystaniem pomiarów magnetycznych do oceny równomierności rozkładu naprężeń. Pierścień zewnętrzny i pierścień wciskany wewnętrzny wykonano ze stali St3. Dla stali tej dysponowano związkami magnetomechanicznymi (krzywe magnesowania w funkcji naprężeń) wyznaczonymi we wcześniejszych badaniach.

Naprężenia sprężyste wyznaczono analitycznie, zakładając parametry wcisku $\delta=0,2$ mm (różnica średnic).

Do wyznaczenia równomierności rozkładu naprężeń w połączeniu wciskowym zastosowano sondę pomiarową przetestowaną na maszynie wytrzymałościowej [6, 11]. Ocenę rozkładu naprężeń przeprowadzono dodatkowo za pomocą pomiarów tensometrycznych.

2.3. Sonda pomiarowa i stanowisko badawcze

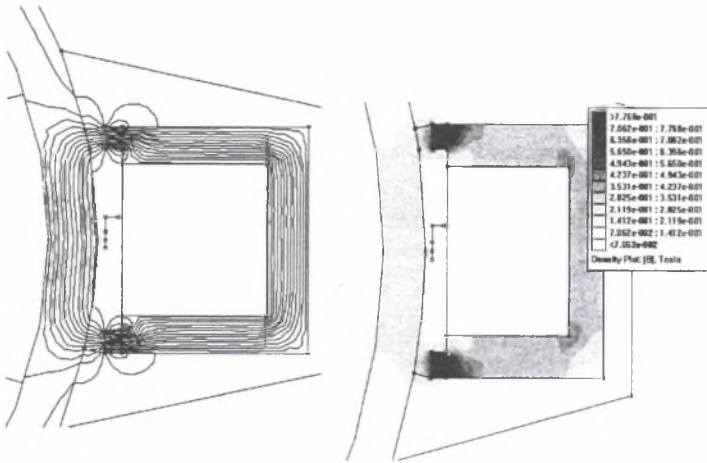
Pomiary natężenia pola magnetycznego wykonywano magnetorezystancyjnymi przetwornikami pola magnetycznego MR zabudowanymi w sondę pomiarową. Przetworniki sondy zostały rozmieszczone niezależnie dla pomiaru składowych natężenia pola magnetycznego: H_n i H_t . Badany materiał magnesowano polem magnetycznym od magnesów trwałych sondy pomiarowej [6,8].

Na wynik pomiaru natężenia pola magnetycznego przy powierzchni materiału mają wpływ: wymiary sondy, lokalizacja magnetorezystora, jego odległość od powierzchni badanej i zastosowane magnesy [8].

Badania symulacyjne pomiaru prowadzone w programie FEMM oparto na następujących założeniach związanych z konstrukcją sondy:

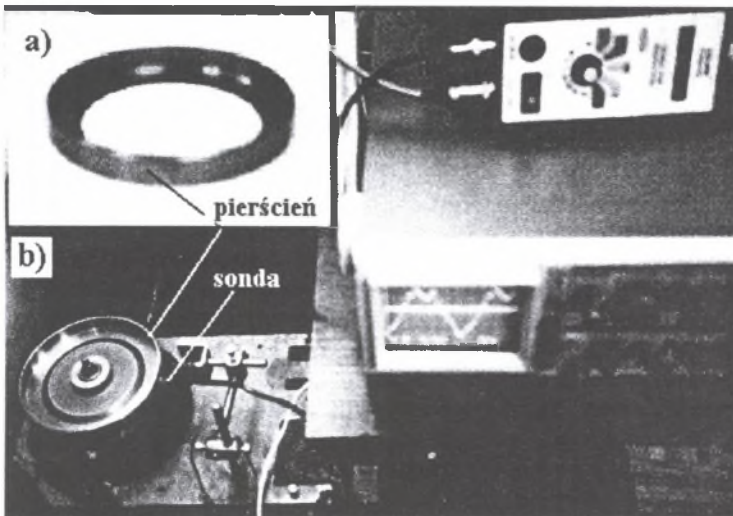
1. Przyjęto magnesy trwałe typu NdFeB32MGOe (z katalogu programu FEMM) o wymiarach $\varnothing 3\text{mm} \times 2\text{mm}$ zbliżone energią ($238,8\text{kJ/m}^3$) oraz zgodne z materiałem magnesów zabudowanych w sondzie pomiarowej NdFeBM1219-2 30MGOe.
2. Odległość pomiaru składowej stycznej natężenia pola magnetycznego od powierzchni równą 1mm i symetryczne zamontowanie mostka magnetorezystancyjnego w sondzie.
3. Odległość pomiaru składowej normalnej natężenia pola magnetycznego od powierzchni równą 1,25mm i asymetryczne (+5mm) zamontowanie mostka magnetorezystancyjnego w sondzie.
4. Parametry magnetomechaniczne pomierzone dla stali St3 [4].
5. Jednakowy materiał krążka zewnętrznego, jak i wewnętrznego.

Na rysunku 2 przedstawiono wyznaczony programem FEMM obraz linii sił pola magnetycznego i indukcji magnetycznej w strefie pomiaru natężenia pola magnetycznego dla pierścienia zewnętrznego bez oddziaływania materiału pierścienia wewnętrznego.



Rys. 2. Pole magnetyczne w strefie pomiaru
Fig.2. Magnetic field in measuring zone

Fotografię stanowiska badawczego z zamontowanym pierścieniem pokazano na rysunku 3.

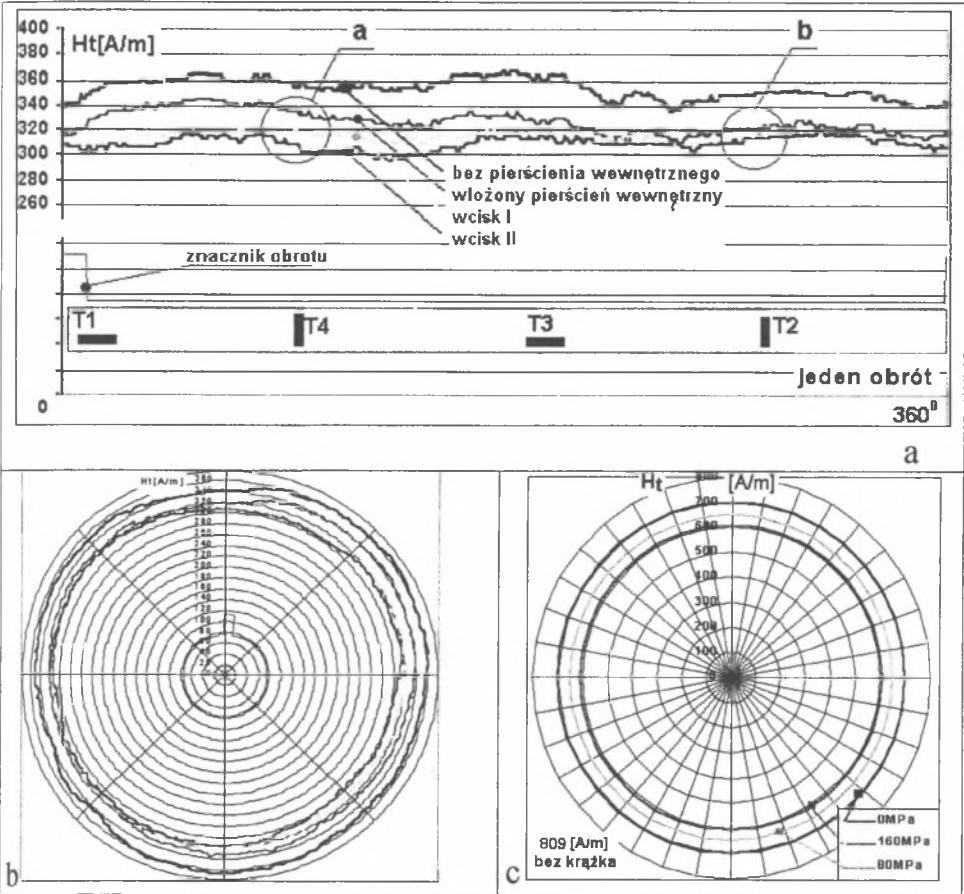


Rys.3. Stanowisko badawcze: a- badany pierścień, b- układ pomiarowo-rejestrujący
Fig.3. Test stand: a/ investigated ring: b/ measuring - recording system

Zamontowany do tarczy element układu optycznego synchronizował moment wyzwalania pomiaru.

3. POMIAR NATEŻENIA POLA MAGNETYCZNEGO

Pomiar natężenia pola magnetycznego prowadzono w odległości 1mm od powierzchni zewnętrznej krążka. Wykryto nierównomierność jego wartości, a tym samym i różnice naprężeń, które potwierdzone zostały pomiarami tensometrycznymi. Dla tensometrów T4 i T2, naklejonych jak pokazano na rys.1, zanotowano metodą wzorcowania oporowego asymetrię. Różnice naprężeń wykryto także w pomiarze natężenia pola magnetycznego. Asymetria ta widoczna jest na rysunku 4a w miejscach oznaczonych literami a i b. Rysunki 4b oraz 4c przedstawiają prezentacje wyników pomiaru i wyników symulacji na wykresie kołowym.



Rys. 4. Wyniki badań rozkładu naprężeń: a, b- pomiar, c- symulacja

Fig.4. Measuring results of stresses distribution a/ measurement b/ simulation

Synchronizacja procesu pomiaru z obrotem pierścienia umożliwia lokalizację miejsc, w których wykryto zmiany w rozkładzie naprężeń.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Założony cel badań polegający na ocenie równomierności naprężeń w pierścieniu od wciśku został zrealizowany. Potwierdzono eksperymentalnie możliwość wykrywania zmian naprężeń dla stali konstrukcyjnych o niewielkich czułościach magnetomechanicznych i współczynnikach magnetostrykcji [2, 3]. Badania wstępne posłużą do weryfikacji założeń pomiarowych i wyniku pomiaru w dalszych badaniach.

Przeprowadzona zostanie analiza mająca na celu wykrycie przyczyn rozbieżności pomiędzy badaniami a symulacją. Przyczyna rozbieżności może być związana z konstrukcją sondy przystosowanej do pomiaru powierzchni płaskich, wpływem materiału i przekroju pierścienia wciskanego, zakresem zadanych naprężeń, a także przebiegiem linii sił pola magnetycznego na wewnętrznej powierzchni styku pierścieni. Dlatego w dalszych badaniach przewidziano:

- ograniczenie zakresu wprowadzonych naprężeń do 50% granicy sprężystości,
- zmianę materiału pierścienia wewnętrznego,
- modyfikację sposobu pomiaru odległości pomiarowej sondy,
- zmiany w konstrukcji sondy przystosowanej do pomiaru powierzchni płaskich.

Literatura

1. Bieńkowski A.: *Metoda badania magnetosprężystego zjawiska Villariego w ferrytach*. VI Krajowe Sympozjum Pomiarów Magnetycznych. str. 59-66.
2. Kaczkowski Z.: *Materiały piezoceramiczne i ich zastosowanie*. Praca zbiorowa PWN, Warszawa 1978.
3. Etienne du Trémolet de Lacheisserie.: *Theory and Applications of Magnetoelasticity*. CRC PRESS - Boca Raton, Ann Arbor, Boston, London 1992.
4. Żurek Z.H.: *Pomiary sił i naprężeń w stalach węglowych, w oparciu o magnetomechaniczny efekt Villariego*, Politechnika Śląska, Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej, IX Seminarium Naukowe, Katowice 2001, str.197-202.
5. Żurek Z.H.: *Wykorzystanie efektu Villariego w diagnostyce technicznej*, XL Sympozjum PTMTS, Modelowanie w Mechanice, Wisła, Polska, 2001, ZN Katedry Mechaniki Stosowanej z.17, str.251-256.
6. Żurek Z.H.: *Przetworniki pomiaru sił i naprężeń w oparciu o efekt Villariego*. Politechnika Śląska, ZN Transport, z.43, Gliwice 2002, str. 153-168.
7. Żurek Z.H.: *Utilization of magneto mechanical effects for detecting material stress and defects in technical diagnostics*. Advances in manufacturing science and technology, Polish Academy Of Sciences, Committee Of Mechanical Engineering, vol.26/3, 2002.
8. Żurek Z.H.: *Pomiary pola magnetycznego w diagnostyce technicznej i materiałowej elementów maszyn*. XXVI IC-SPETO Międzynarodowa Konferencja z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów, Gliwice-Ustroń 22-25. maja 2002, str. 75-80.
9. Żurek Z.H.: *Pomiary naprężeń wewnętrznych w materiałach ferromagnetycznych*. 10 Jubileuszowe Seminarium Naukowe, Politechnika Śląska. Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej, Katowice, 10 maja 2002. str. 203-208.
10. Żurek Z.H.: *Efekty magnetyczne użyteczne w diagnostyce technicznej*, Politechnika Śląska, ZN Elektryka, z 176, Gliwice 2001, str. 153-158.
11. Żurek H. Z.: *Sonda pomiarowa defektoskopu magnetycznego* P 344 055. Politechnika Śląska, Gliwice 2001.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zdzisław Kabza

Abstract

Magnetic investigations of machine elements made of ferromagnetic materials have significant meaning in technical diagnosis. They can give additional findings, which couldn't be obtained with the use of vibroacoustic research. Measurements of stresses distribution in the interferential connection of two ferromagnetic elements proved, that these measurements are possible and easy – to – take for low materials of magneto – elastic sensitivity and low magnetostriction coefficients. Additional advantage of above mentioned researches are measurements without contact in running and mechanical loaded elements.