

Zbigniew H. Żurek, Michał Szudyga
Politechnika Śląska, Gliwice

EFEKTY MAGNETOSPREŻYSTE W STALACH KRZEMOWYCH

MAGNETIC EFFECTS IN SILICON STEELS

Abstract: While designing electric devices it is usually assumed that material's magnetic parameters are constant or influenced by temperature only. In real life, ferromagnetic material properties depend largely on mechanical stresses. In the paper it is shown that material's, largely depends on mechanical stresses.

1. Wstęp

Na etapie projektowania maszyn lub urządzeń elektromagnetycznych przyjmuje się, że parametry magnetyczne materiału są zależne od temperatury i zakłada się, że nie zależą od naprężeń [2]. Czułość magnetospężysta stali elektrotechnicznych (stali krzemowych) jest powiązana ilościowo i jakościowo ze współczynnikiem magnetostrykcji λ , i nie można jej pominąć w rozważaniach teoretycznych oraz praktycznych. Konwersja magnetospężysta jest zjawiskiem odwrotnym do magnetostrykcji i polega na zmianie parametrów magnetycznych ferromagnetyków pod wpływem naprężeń zewnętrznych.

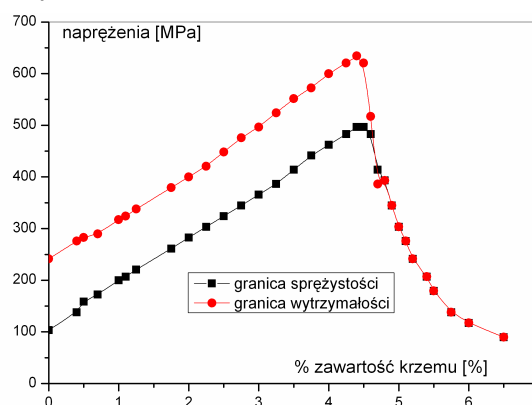
W określonym zakresie natężeń pola magnetycznego i naprężeń mechanicznych efekt Villarię'go jest odwrotnością efektu Joule'a. Wartość współczynnika magnetostrykcji opisuje podatność materiału do badań magnetycznych naprężeń. W badaniach przeprowadzonych w słabych polach magnetycznych i niskich naprężeniach rozciągających zanotowano 14 procentowy przyrost przenikalności magnetycznej badanych blach [3, 4]. Cechy charakterystyczne stali krzemowej są zależne od składu procentowego krzemu, który decyduje o wartościach magnetycznych i mechanicznych. Są one dobrze udokumentowane, lecz mniej znane ze względu na fakt, że większość rozwiązań technicznych dotyczyła wojska (szczególnie marynarki i lotnictwa).

2. Parametry stali krzemowej

Szczegółowy opis stali krzemowej (26H1) i jej zastosowania podał w roku 1882, Hadfield. Magnetyczne i elektryczne właściwości stali krzemowej 85H1 pomierzył J. Hopkinsom. Badana przez niego stal zawierała od 2 do 2,5% krzemu [1]. Od tego czasu zanotowano

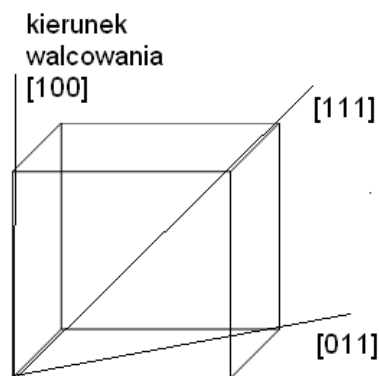
gwałtowny rozwój zainteresowania stalą krzemową jej własnościami i produkcją.

Odkryto i opisano wiele cech opisujących stal krzemową. Charakterystyczny dla tej stali jest liniowy wzrost wytrzymałości mechanicznej do wartości 4,5% krzemu i jej ostry spadek w granicach od 4,5 % do 6,5% zawartości krzemu. Parametry mechaniczne powyższej stali podano na rysunku 1. [1]



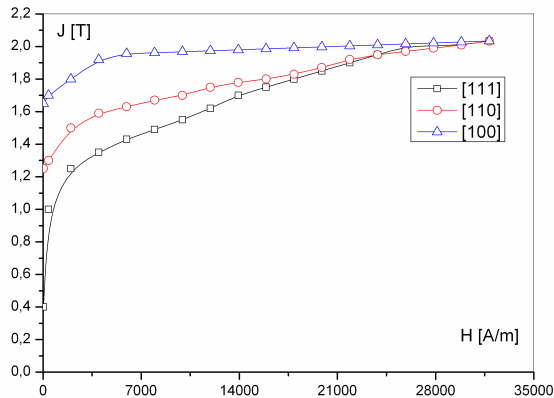
Rys. 1. Własności mechaniczne stali krzemowej

Struktura krystaliczna tej stali oraz kierunki łatwego i trudnego magnesowania związana jest z procesem walcowania (rys. 2)



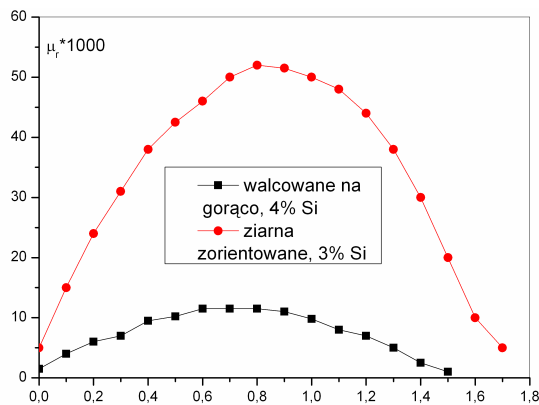
Rys. 2. Zorientowanie osi kryształu w stosunku do kierunku walcowania

Magnetyzację dla pojedynczego kryształu [1] przedstawiono na rysunku 3.



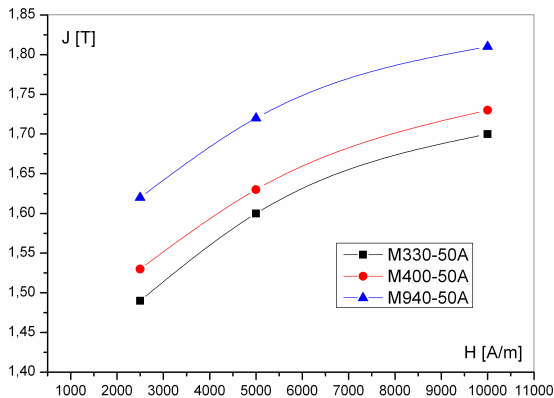
Rys. 3. Krzywe pierwszego magnesowania z uwzględnieniem kierunku osi kryształu

Krzywe przenikalności magnetycznej [1] pokazane na rysunku 4 odnoszą się do materiału o zawartości krzemu 3% i 4% oraz walcowania na gorąco z dodatkowym uwzględnieniem kierunku zorientowania ziaren.



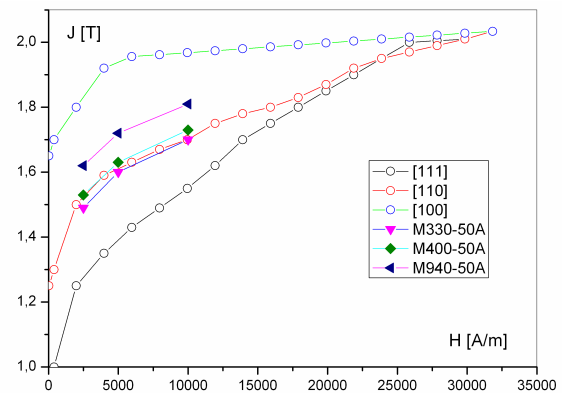
Rys. 4. Krzywe zmian przenikalności magnetycznej

Parametry stali krzemowej z grupy M330, M400 i M940 pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Katalogowe parametry wycinków krzywej pierwszego magnesowania [5]

Porównanie stali katalogowych z zakresami magnesowania określonych kierunków dla kryształu daje informacje o parametrach obecnie produkowanej produkcji stali krzemowej.

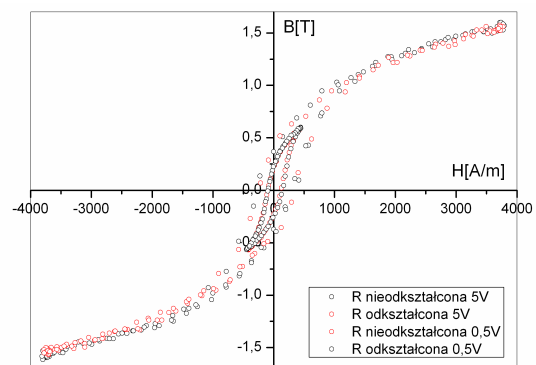


Rys. 6. Porównanie charakterystyk magnetyzacji w funkcji natężenia pola magnesyjnego

Obserwujemy zgodność parametrów magnetycznych magnesowania stali krzemowych w stosunku do magnesowania pojedynczego kryształu w osi [110].

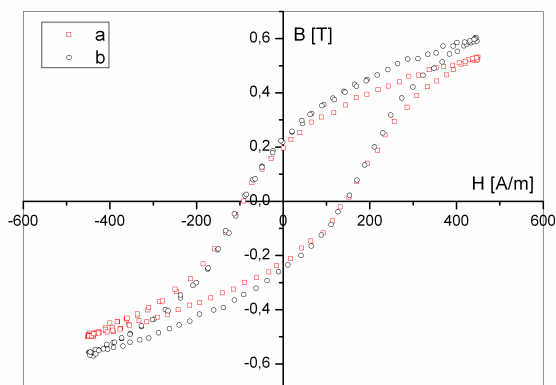
3. Pomiary dynamicznych pętli histerezy blach krzemowych

Badano paski blachy krzemowej o szerokości 4 mm. Paski zostały wycięte na przecinarce wodnej w dwóch grupach po 10 sztuk (w kierunkach walcowania blachy i w kierunku prostopadłym). Dynamiczne pętle histerezy pokazano na rysunku 7. Pomiary wykonano przy częstotliwości 50Hz.



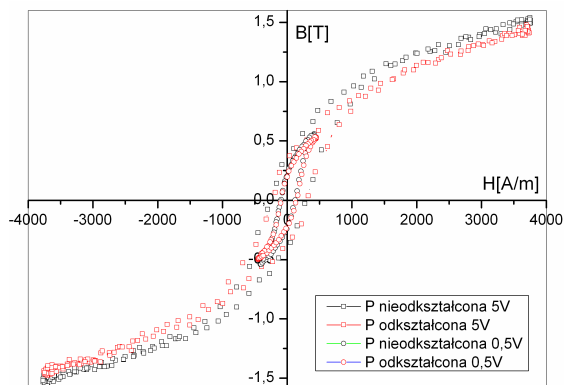
Rys. 7. Dynamiczne pętle histerezy magnetycznej stali o zgodnym kierunku magnesowania w zależności od obciążeń mechanicznych

Dla niskich pól magnesowania przebieg histerezy magnetycznej jest wyrażenie zależny od naprężeń (rys. 8).



Rys. 8. Przebiegi histerezy magnetycznej próbki obciążonej i nieobciążonej mechanicznie

Blachy, które zostały wycięte w kierunku prostopadłym do kierunku walcowania wykazują wyższą czułość magnetosprężystą, jak pokazano na rysunku 9.



Rys. 9. Krzywe magnesowania blachy w kierunku prostopadłym do osi walcowania

Dla natężeń pola magnetycznego przekraczających wielokrotnie natężenie powściągające można zaobserwować kilkunastoprocentową zmianę parametrów magnetycznych.

4. Podsumowanie

W badaniu blach elektrotechnicznych, przeprowadzonych na próbkach wycinanych hydraulicznie można zaobserwować wpływ sposobu cięcia. Jest to widoczne pomiędzy blachami oznaczonymi na rysunkach literą P i R. Sposób cięcia skręca pasma materiału, a wprowadzone naprężenia ukrywają rzeczywiste efekty magnetosprężyste. Do dalszych badań jakościowych przygotowane zostaną próbki wycinane laserowo.

5. Literatura

[1]. Bozorth R., Ferromagnetism M.: The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE

Magnetics Society, Sponsor, Inc., New York 1936, An IEEE Press Classic Reissue, Magnetic Society, 1993.

[2]. Żurek Z.H.: Metoda diagnostyki stanu stalowych (paramagnetycznych i ferromagnetycznych) elementów maszyn elektrycznych na przykładzie bandaży i kap wirników generatorów N N510 238538 - raport roczny.

[3]. Żurek Z.H, Śladowski M., Influence of Stress In Interference Joint Between Frame and Stator on Flux Density Distribution in the Air Gap, Komel, Maszyny Elektryczne, Zeszyty Problemowe Nr 85/2010, strony 167-17.

[4]. Żurek Z.H.: Sprężystość mechaniczna w obwodach magnetycznych, Maszyny Elektryczne, Zeszyty Problemowe, Nr 82/2009, s. 39-43.

[5]. Electrical Steel Strip, Catalog, http://www.cdw.de/data-live-cdw/docs/pdf/Broschueren/elektroband/CDW-Electrical_steel_strip-gb.pdf.

Autorzy

Zbigniew Hilary Żurek dr hab. inż. prof. Pol. Śl., Wydział Transportu

Zbigniew.Zurek@polsl.pl

Michał Szudyga mgr inż., Politechnika Śląska, Wydział Transportu

Michał.Szudyga@polsl.pl

Opracowanie wykonano w ramach grantu własnego N N507 0807 33.

„Metoda diagnostyki stanu stalowych (paramagnetycznych i ferromagnetycznych) elementów maszyn elektrycznych na przykładzie bandaży i kap wirników generatorów”