

Tomasz Janta¹

Politechnika Wroclawska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych
 ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław, e-mail: tomasz.janta@pwr.wroc.pl

WPŁYW TEMPERATURY PRACY NA STRATNOŚĆ DIELEKTROMAGNETYKÓW

Magnetyczne kompozyty proszkowe znajdują coraz szersze zastosowanie jako materiały magnetycznie czynne magnetowodów urządzeń elektrycznych. Ze względu na właściwości oraz prostą technologię szczególnym zainteresowaniem cieszą się dielektromagnetyki. Są to kompozyty proszkowe wykonywane z proszku magnetycznie miękkiego z zastosowaniem, oprócz innych domieszek, dielektryku stanowiącego najczęściej zarówno środek izolujący, jak i wiążący cząstki magnetycznie miękkie. W zastosowaniu tych materiałów istotna jest stałość parametrów magnetycznych i elektrycznych w czasie ich pracy oraz ich niezmiennosc pod wpływem warunków otoczenia (np. temperatury, wilgotności). Poznanie zmian pozwoli na odpowiednią korektę przy projektowaniu magnetowodów tak, aby zmiany te nie dyskwalifikowały urządzeń w trakcie ich eksploatacji. Zmiany zależą, między innymi, od zastosowanej technologii, rodzaju zastosowanego proszku magnetycznie miękkiego, ilości i rodzaju użytego dielektryku, ilości i rodzaju ewentualnych domieszek i, w końcu, od czynnika narażającego. Wpływ ten znajduje swoje odzwierciedlenie w zmianie różnych właściwości, w tym właściwości magnetycznych, elektrycznych czy też mechanicznych. Stąd zależności te są trudne do jednoznacznego zbadania i opisanie. Określono wpływ temperatury pracy magnetowodów wykonanych z dielektromagnetyków na ich stratność. Badane dielektromagnetyki znajdowały się w temperaturze 100°C przez 1 rok. Ich stratność porównano ze stratnością dielektromagnetyków przechowywanych przez ten sam czas w stałej temperaturze otoczenia 21°C oraz stałej wilgotności wynoszącej 55%. Zbadano dielektromagnetyki wykonane z proszku magnetycznie miękkiego ASC 100.29 domieszkowanego żywicą epoksydową Epidian 101 w ilości 0,1 oraz 0,2% wagi. Schemat blokowy komputerowego systemu pomiarowego przedstawiono na rysunku 1. Zmierzone wartości stratości całkowitej oraz jej składowych: stratości z histerezy oraz z prądów wirowych przedstawiono w tabelach 1 i 2 oraz na rysunkach 2-4. Wykazano, że wpływ temperatury pracy dielektromagnetyków na ich stratność jest mały i korzystny z punktu widzenia ich zastosowania na magnetowody urządzeń elektrycznych - stratność całkowita maleje o około 1%. Świadczy to niewątpliwie o dobrej jakości zastosowanego proszku magnetycznie miękkiego, którego właściwości są stabilne w czasie oraz o wystarczającej, ochronnej warstwie cząstek żelaza wytworzonej przez zastosowany dielektryk.

Słowa kluczowe: metalurgia proszków, materiały magnetycznie miękkie, dielektromagnetyki, dielektryki, stratność, zjawiska starzeniowe

INFLUENCE OF WORKING TEMPERATURE ON LOSSINESS OF DIELECTROMAGNETICS

Magnetic powder composites find ever-wider use as active magnetic materials for magnetic cores of electric devices. Because of their properties and manufacturing technology, dielectromagnetics attract a great interest. They are powder composites made from soft magnetic powder with an admixture of, among others, dielectric in the form of resins, which both bind and isolate the soft magnetic particles. The properties of manufactured dielectromagnetics and their constancy over time as well as the influence of the operating conditions (e.g. temperature) or the medium (e.g. humidity) on them are the main factors, which determine the use of these materials. When the factors are examined and understood, it will become possible to design magnetic cores in such a way that the predictable changes in their properties will not disqualify the electric devices in the course of their service. In this paper changes in the lossiness of dielectromagnetics, made of soft magnetic powder ASC 100.29 with an admixture of epoxy resin Epidian 101 in the amount of 0.1 and 0.2% by weight, caused by working temperature are described. Dielectromagnetics for tests were compacted in form of ring samples with dimensions $\phi 50 \times \phi 60 \times 5$ mm. Applied compacted pressure was 800 MPa. Samples were cured at temperature 200°C in the resistance furnace in the course of 1 hour. The lossiness of dielectromagnetics of the specimens were tested after they were stored one year in ambient conditions at a constant temperature of 100°C and (comparative series) at a constant temperature of 21°C and a constant humidity of 50%. Block diagram of the computer system for lossiness measurements is presented in Figure 1. The density and total lossiness of tested dielectromagnetics at induction 0.5 T and 1 T for frequencies 50 Hz are shown in Table 1 and in Figure 2 (at $B = 1$ T). Distribution of lossiness for frequencies 50 Hz are presented in Table 2 and in Figures 3 and 4. Values of eddy current loss are very small, about 3% of hysteresis loss (Table 2). The research has shown that they increase by 14% (Fig. 4) does not essentially effect on total lossiness (Fig. 2). The effect of working temperature on the lossiness of the tested dielectromagnetics is small and profitable - the total lossiness decreased about 1% (Table 1, Fig. 2). This is a proof of the high quality of the soft magnetic powder and dielectric used whose properties remain stable over temperature.

Keywords: powder metallurgy, soft magnetic materials, dielectromagnetics, dielectrics, lossiness, ageing phenomena

WSTĘP

¹ dr inż.

Magnetyczne kompozyty proszkowe nabierają ostatnio szczególnego znaczenia jako materiały magnetyczne do wykonywania magnetowodów urządzeń elektrycznych. W zależności od wymagań mogą być stosowane różne, z punktu widzenia właściwości magnetycznych i mechanicznych, rodzaje kompozytów proszkowych (np. spieki, magnetodielektryki, dielektromagnetyki) [1]. W Instytucie Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej od wielu lat prowadzone są badania podstawowe i aplikacyjne różnych typów magnetycznych kompozytów proszkowych, których podstawowym składnikiem jest magnetycznie miękki proszek żelaza [2-5].

W zastosowaniu magnetowodów z kompozytów proszkowych, oprócz dobrych właściwości po wyprodukowaniu, istotna jest stałość tych właściwości w czasie, a także ich niezmiennosc pod wpływem zmiennych warunków otoczenia (np. temperatury, wilgotności). Zjawisko jest trudne do jednoznacznego zbadania ze względu na mnogość czynników je obejmujących. Zmiany mogą zależeć od zastosowanej technologii, rodzaju proszku magnetycznie miękkiego, ilości i rodzaju użytego dielektryku, ilości i rodzaju ewentualnych domieszek i w końcu od czynnika narażającego. Wpływ ten może znaleźć swoje odzwierciedlenie w zmianach różnych, istotnych w eksploatacji, właściwości, takich jak magnetyczne, elektryczne czy też mechaniczne.

Poznanie wpływu czasu i środowiska pracy na właściwości magnetowodów kompozytowych pozwoli na odpowiednią korektę na etapie ich projektowania tak, aby zmiany tych właściwości nie dyskwalifikowały urządzeń w trakcie ich eksploatacji.

Zauważyć można zwiększone zainteresowanie magnetycznie miękkimi kompozytami proszkowymi typu dielektromagnetyk [2, 6]. Związane jest to z lepszymi perspektywami ich zastosowań. W porównaniu do spieków charakteryzują się one mniejszą stratnością, zwłaszcza spowodowaną prądami wirowymi. Wynika to bezpośrednio ze zwiększenia rezystywności materiału w wyniku izolowania poszczególnych cząstek żelaza przez dielektryk.

Celem badań jest określenie wpływu temperatury pracy na stratność magnetowodów wykonanych z dielektromagnetyków.

Kształt magnetowodu kompozytowego typu dielektromagnetyk otrzymywany jest w procesie prasowania mieszanki proszku w formie z zastosowaniem ciśnienia rzędu 600÷800 MPa. Po nadaniu kształtu otrzymana wypraska, w zależności od typu zastosowanego dielektryku, utwardzana jest w temperaturze 180÷500°C [3, 4]. W trakcie tego procesu uzyskiwane są końcowe właściwości dielektromagnetyku. Od składu i właściwości chemiczno-fizycznych zastosowanego proszku (proszków) magnetycznego i dielektryku oraz od wartości parametrów wytwarzania (ciśnienia prasowania, temperatury utwardzania) zależą właściwości magnetyczne,

elektryczne i mechaniczne otrzymanego magnetowodu [3, 4].

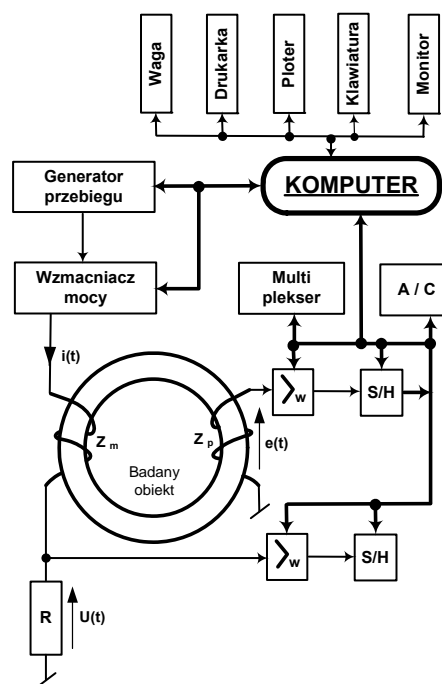
Zakres badań obejmuje dielektromagnetyki wykonane z magnetycznie miękkiego proszku żelaza ASC 100.29 z dodatkiem dielektryku w postaci żywicy epoksydowej Epidian 101.

Praca jest kontynuacją wcześniejszych badań [5] związanych z wpływem czasu na stratność dielektromagnetyków.

PRZYGOTOWANIE PRÓBEK I BADANIA

Dielektromagnetyki do badań wykonano w dwóch seriach z jednego typu proszku magnetycznie miękkiego (proszek ASC 100.29) o rozmiarach cząstek proszku żelaza zawartych w przedziale 71÷250 μm oraz dielektryku w postaci żywicy epoksydowej Epidian 101 w ilości 0,1 oraz 0,2% wagowo. Składniki mieszano w mieszalniku typu V przez jedną godzinę. Wykonano i zmierzono właściwości 10 sztuk toroidów w każdej z serii badań.

Z przygotowanych mieszanek wyprasowano toroidy o wymiarach $\phi 50 \times \phi 60 \times 5$ mm. Zastosowano typowe dla tego typu kompozytów ciśnienie prasowania o wartości 800 MPa; wypraski utwardzano w piecu rezystancyjnym w temperaturze optymalnej dla zastosowanego dielektryku [4], wynoszącej 200°C przez 1 godzinę.



Rys. 1. Schemat blokowy komputerowego systemu pomiarowego stratności

Fig. 1. Computer system for lossiness measurements (block diagram)

Zmierzono właściwości fizyczne, w tym gęstość, oraz stratność wykonanych dielektromagnetyków. Rozdział strat przeprowadzono po pomiarach strat przy częstotliwościach 50 i 100 Hz. Stratność próbek zmie-

rzone za pomocą komputerowego systemu pomiarowego do badania właściwości magnetycznych kompozytów proszkowych oraz blach elektrotechnicznych MAG-RRJ-1.1. System ten pozwala na pomiar właściwości magnetycznych z błędem nie większym niż 1%.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy zastosowanego komputerowego systemu pomiarowego. Namagnesowanie badanej próbki realizowane jest za pomocą bloku generacji i wzmacniacza mocy. W procesie pomiarowym odpowiednie sygnały z obiektu badanego podawane są na wzmacniacze wejściowe, dopasowujące je do poziomów wymaganych przez układy cyfrowe. Następnie sygnały te są próbkowane w przetwornikach próbkująco-pamiętających (S/H) i kwantowane w przetworniku A/C, przełączanym na kolejne kanały pomiarowe przez multiplexer. W komputerze przebiegi podawane są odpowiednim procedurom obliczeniowym i w tej postaci są dostępne dla operatora.

Serie badanych próbek podzielono na dwie części. Jedną część przechowywano w stałej temperaturze otoczenia 21°C oraz stałej wilgotności wynoszącej 55%, natomiast druga znajdowała się w sterowanym elektronicznie piecu grzewczym w stałej temperaturze 100°C. Po upływie 1 roku zmierzono stratność dielektromagnetyków oraz przeprowadzono ich rozdział na straty z histerezy i z prądów wirowych.

WYNIKI BADAŃ

Gęstość dielektromagnetyków oraz stratności całkowite dielektromagnetyków znajdujących się w temperaturze 21 oraz 100°C przedstawiono w tabeli 1. Gęstość dielektromagnetyków zmierzono tylko raz, przed badaniami, ponieważ po wyprasowaniu i zmierzeniu parametrów mechanicznych i fizycznych oraz obliczeniu gęstości dielektromagnetyki uzwojono do pomiaru stratności. Aby uniknąć błędów przypadkowych, wynikających np. ze zmiany rozkładu geometrycznego uzwojeń pomiarowych lub obliczenia ilości zwojów, uzwojeń tych nie zmieniano w trakcie badań.

TABELA 1. Gęstość i stratność całkowita badanych dielektromagnetyków

TABLE 1. Density and total lossiness of tested dielectromagnetics

Ilość żywicy	Gęstość	Stratność całkowita dla $f=50$ Hz			
		$B=0,5$ T		$B=1,0$ T	
d	δ	$T=21^\circ\text{C}$	$T=100^\circ\text{C}$	$T=21^\circ\text{C}$	$T=100^\circ\text{C}$
%	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$				
0,1	7,452	2,51	2,47	7,92	7,89
0,2	7,375	2,61	2,61	8,20	8,13

Zgodnie z oczekiwaniem, gęstość dielektromagnetyków o większej zawartości dielektryku (tab. 1) jest niższa mimo teoretycznie lepszych warunków prasowa-

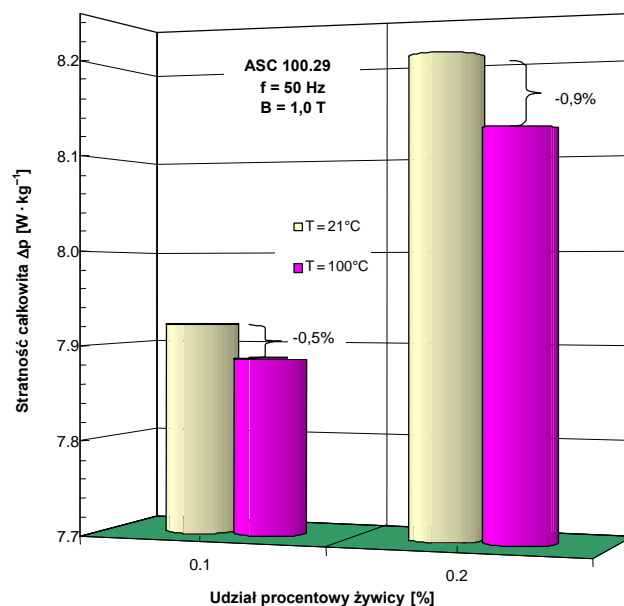
nia. Wykazano, że stratność całkowita dielektromagnetyków o większej ilości żywicy (0,2% wagowo) jest większa niż przy jej dodatku w ilości 0,1%. Wynika to z faktu, że przy mniejszej zawartości żywicy stratność z prądów wirowych ograniczona została do wartości na tyle małych, że dalsze jej zmniejszanie przez zwiększenie ilości zastosowanego dielektryku nie ma istotnego wpływu na stratność całkowitą. O stratności całkowitej decydują w tym przypadku straty z histerezy, które przy większej zawartości żywicy są widocznie większe. Potwierdzają to wyniki rozdziału strat przedstawione w tabeli 2.

Rozdział strat przeprowadzono za pomocą komputerowego systemu pomiarowego po pomiarach stratności przy częstotliwości 50 oraz 100 Hz. W tabelach podano wartości stratności dla $f=50$ Hz. Wykreślne zmiany stratności całkowitych dla obu wartości dodatku żywicy przy $B=1$ T, $f=50$ Hz przedstawiono na rysunku 2. Stratność dielektromagnetyków przetrzymywanych w „normalnych” warunkach otoczenia oznaczono jako $T=21^\circ\text{C}$, a tych znajdujących się przez jeden rok w temperaturze 100°C jako $T=100^\circ\text{C}$.

TABELA 2. Stratność z histerezy (Δp_h) i prądów wirowych (Δp_w)

TABLE 2. Hysteresis (Δp_h) and eddy-current lossiness (Δp_w)

Ilość żywicy	Stratność, $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$, dla $f=50$ Hz							
	$B=0,5$ T				$B=1,0$ T			
d	$T=21^\circ\text{C}$		$T=100^\circ\text{C}$		$T=21^\circ\text{C}$		$T=100^\circ\text{C}$	
%	Δp_h	Δp_w	Δp_h	Δp_w	Δp_h	Δp_w	Δp_h	Δp_w
0,1	2,49	0,02	2,44	0,03	7,70	0,22	7,70	0,25
0,2	2,60	0,01	2,60	0,01	7,93	0,27	7,93	0,26

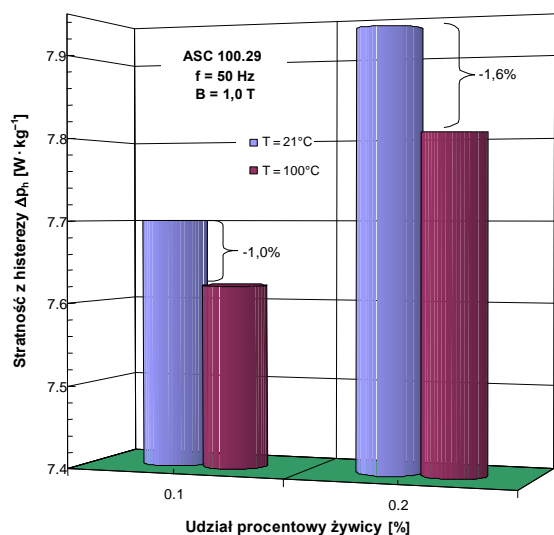


Rys. 2. Stratność całkowita badanych dielektromagnetyków, $B=1$ T, $f=50$ Hz

Fig. 2. Total lossiness of tested dielectromagnetics, $B=1$ T, $f=50$ Hz

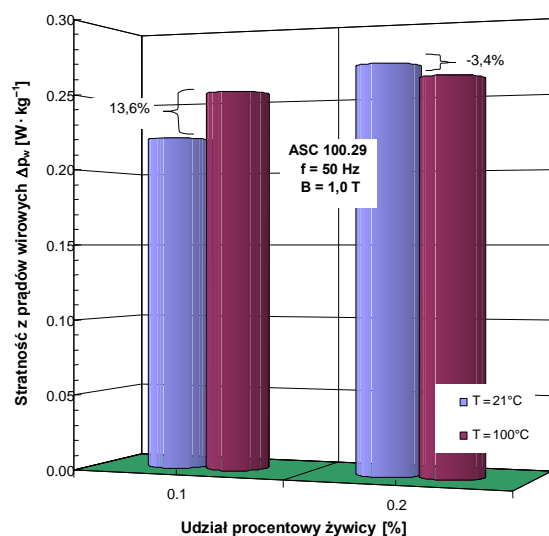
Wyniki pomiarów stratności całkowitej dowodzą, że dla obu zawartości dielektryku (0,1 i 0,2% żywicy) wpływ temperatury pracy w wysokości 100°C na wartość tych strat jest mały i powoduje ich zmniejszenie, co jest zjawiskiem bardzo korzystnym. Stratność całkowita tych dielektromagnetyków maleje o blisko 1% w porównaniu do tych znajdujących się w temperaturze otoczenia 21°C (0,2% dielektryku).

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wykreślnie wyniki rozdziału strat całkowitych na straty z histerezy oraz straty z prądów wirowych. Z przeprowadzonego rozdziału strat wynika jednoznacznie, że zmniejszenie strat całkowitych jest spowodowane głównie zmniejszeniem strat z histerezy. Wprawdzie procentowe zmniejszenie tych strat nie jest duże (1,0 oraz 1,6%), ale straty te stanowią ponad 97% strat całkowitych. Stąd, mimo że straty wiroprowowe dielektromagnetyków o 0,1% zawartości żywicy wzrosły o 13,6%, ich stratność całkowita zmalała o 0,5%.



Rys. 3. Stratność z histerezy, $B = 1$ T, $f = 50$ Hz

Fig. 3. Hysteresis lossiness, $B = 1$ T, $f = 50$ Hz



Rys. 4. Stratność z prądów wirowych, $B = 1$ T, $f = 50$ Hz

Fig. 4. Eddy-current lossiness, $B = 1$ T, $f = 50$ Hz

WNIOSKI

Badania wykazały, że po roku od wyprodukowania stratność dielektromagnetyków nie ulega zasadniczym zmianom pod wpływem temperatury pracy. Zmniejszenie wartości strat z histerezy nie przekracza 2% i jest korzystne z punktu widzenia zastosowania dielektromagnetyków. Temperatura w tym przypadku działa odprężająco na cząstki żelaza (analogicznie jak dodatkowa odprężająca obróbka cieplna), co uzasadnia korzystne zmniejszenie stratności.

Widoczne jest jednocześnie zwiększenie stratności z prądów wirowych dielektromagnetyków dla 0,1% dodatku żywicy. Dowodzi to tego, że izolująca warstwa dielektromagnetyku jest bardzo cienka i wrażliwa nawet na tak niską, lecz długotrwale działającą temperaturę. Mimo że procentowy wzrost tej stratności przy częstotliwości 50 Hz jest bardzo duży (13,6%), to nie jest on decydujący dla strat całkowitych (które maleją o 0,5%), ponieważ straty z prądów wirowych stanowią około 3% strat całkowitych.

Stołość przedstawionych parametrów potwierdza wysoką jakość proszku magnetycznie miękkiego użytego do wykonania badanych dielektromagnetyków, którego właściwości są stabilne w czasie, oraz po wytworzeniu na cząstkach żelaza wystarczającej izolującej warstwy dielektryku.

LITERATURA

- [1] Janta T., Kordecki A., Węgliński B., PM Soft Magnetic Composites versus Electrical Sheets, EURO PM2000, Workshop on Production and Applications of Soft Magnetic Materials for Electric Motors, Munich, Germany, 2000, Proceedings, 15-29.
- [2] Antal L., Janta T., Własności ruchowe silników indukcyjnych małej mocy z wirnikiem z materiałów kompozytowych, Zeszyty Problemowe, Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice, maj 2003, 53-58.
- [3] Janta T., Węgliński B., Wpływ obróbki cieplnej na stratność dielektromagnetyków, Kompozyty (Composites) 2002, 2, 3, 91-99.
- [4] Janta T., Węgliński B., Wpływ rodzaju dielektryku na właściwości dielektromagnetyków, Kompozyty (Composites) 2003, 3, 7, 165-171.
- [5] Janta T., Wpływ zjawisk starzeniowych na stratność dielektromagnetyków, Zeszyty Problemowe, Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice, maj 2004, 51-54.
- [6] Jack A.G., Experience with the Use of Soft Magnetic Composites in Electrical Machines, International Conference on Electrical Machines, September, Istanbul, Turkey 1998, 1441-1448.

