

Tomasz Janta¹

Politechnika Wroclawska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław

WPŁYW ZJAWISK STARZENIOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE KOMPOZYTÓW PROSZKOWYCH TYPU DIELEKTROMAGNETYK

Magnetyczne kompozyty proszkowe znajdują ostatnio coraz szersze zastosowanie jako materiały magnetyczne czynne magnetowodów urządzeń elektrycznych. Ze względu na właściwości oraz prostą technologię szczególnie zainteresowaniem cieszą się dielektromagnetyki. Są to kompozyty proszkowe wykonywane z proszku magnetycznie miękkiego z zastosowaniem, oprócz innych domieszek, dielektryku w formie żywicy, które stanowią zarówno środek wiążący, jak i izolujący cząsteczki magnetycznie miękkie. Istotna w zastosowaniu tych materiałów, oprócz właściwości po wyprodukowaniu, jest stałość tych parametrów w czasie oraz, co stanowi odrębne zagadnienie, wpływ na nie zmienionych warunków otoczenia (np. temperatury, wilgotności). Poznanie tych zależności pozwoli na ewentualną korektę przy projektowaniu magnetowodów tak, aby zachodzące zmiany właściwości dielektromagnetyków nie dyskwalifikowały urządzeń w trakcie eksploatacji. Zjawisko jest trudne do jednoznacznego zbadania i opisanie ze względu na mnogość czynników je obejmujących. Zmiany zależą bowiem mogą, między innymi, od 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, np. właściwości magnetycznych, elektrycznych czy też mechanicznych. W pracy przedstawiono wynikające ze zjawisk starzeniowych zmiany właściwości magnetycznych dielektromagnetyków wykonanych z proszku magnetycznie miękkiego ASC 100.29 domieszkowanego żywicą epoksydową Epidian 101 w ilości 0,1 oraz 0,2% wag. Badania właściwości magnetycznych próbek przeprowadzono dwukrotnie - pierwszy raz po ich wykonaniu oraz powtórnie po upływie 1 roku. Między pomiarami dielektromagnetyki znajdowały się w warunkach otoczenia: w stałej temperaturze 21°C oraz stałej wilgotności wynoszącej 55%. Zmierzone wartości i przebiegi krzywej magnesowania oraz, wynikającej z niej, przenikalności magnetycznej względnej przedstawiono w tabeli 1 i na rysunkach 2-7. Badania wykazały, że w zakresie przedstawianych właściwości magnetycznych wpływ zjawisk starzeniowych jest praktycznie niezauważalny. Świadczy to niewątpliwie o dobrej jakości zastosowanego proszku magnetycznie miękkiego, którego właściwości są stabilne w czasie.

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

INFLUENCE OF AGEING PHENOMENA ON MAGNETIC PROPERTIES OF DIELECTROMAGNETIC - TYPE POWDER COMPOSITES

Lately magnetic powder composites find ever wider use as active magnetic materials for magnetic cores of electric devices. Because of their proprieties 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. Since the problem is a complex one it is difficult to explore. The changes depend on, among others, the kind of magnetically soft powder, the amount and kind of dielectric, the amount and kind of admixtures and finally, on the exposure. The affected properties include magnetic, electric and mechanical properties. In this paper changes in the magnetic properties 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 ageing are described. The magnetic properties of the specimens were tested twice: immediately after they were made and one year later. The dielectromagnetics were stored in ambient conditions at a constant temperature of 22°C and a constant humidity of 50%. The magnetization curve values and shapes and the corresponding relative magnetic permeabilities are shown in Table 1 and in Figures 2-7. The research has shown that the effect of ageing phenomena on the magnetic properties of the tested dielectromagnetics is practically negligible. This is a proof of the high quality of the soft magnetic powder used whose properties remain stable over time.

Key words: powder metallurgy, soft magnetic materials, dielectromagnetics, dielectrics, magnetic properties, ageing phenomena

CEL, ZAKRES I PODSTAWA BADAŃ

W Instytucie Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej od wielu lat prowadzone są badania podstawowe i aplikacyjne magne-

tycznych kompozytów proszkowych, których podstawowym składnikiem jest magnetycznie miękki proszek żelaza. W zastosowaniu tych materiałów w dłuższej perspektywie czasu niewątpliwie ważna będzie stałość

¹ dr inż.

ich właściwości w czasie czy też choćby znajomość zachodzących zmian.

Celem badań jest określenie wpływu zjawisk starzeniowych na właściwości magnetyczne dielektromagnetyków. Zakres prezentowanych badań obejmuje dielektromagnetyki wykonane z magnetycznie miękkiego proszku żelaza ASC 100.29 z dodatkiem dielektryku w postaci żywicy epoksydowej Epidian 101. Poznanie wpływu zjawisk starzeniowych na właściwości dielektromagnetyków pozwoli wprowadzić odpowiednią korektę na etapie projektowania magnetowodów tak, aby ewentualne zmiany tych właściwości nie dyskwalifikowały urządzeń w trakcie eksploatacji.

WPROWADZENIE

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) [3]. W ostatnich latach można zauważyć zwiększone zainteresowanie magnetycznie miękkimi kompozytami proszkowymi typu dielektromagnetyk [1, 2]. Związane jest to z lepszymi, zdaniem badaczy, perspektywami ich zastosowań. Charakteryzują się one bowiem, w porównaniu do spieków, mniejszą stratnością, zwłaszcza z prądów wirowych. Jest to wynikiem zwiększenia rezystywności materiału związanej z izolowaniem poszczególnych cząstek żelaza przez dielektryk.

Kształt magnetowodu kompozytowego typu dielektromagnetyk otrzymywany jest w procesie prasowania mieszanki proszku w formie, stosując ciśnienia rzędu 600÷800 MPa. Po nadaniu kształtu otrzymana wypraska jest utwardzana w temperaturze 180÷500°C. 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 [4, 5].

Istotna w zastosowaniu tych materiałów, oprócz właściwości po wyprodukowaniu, jest ich stałość w czasie, a także, co stanowi odrębne zagadnienie, wpływ na te właściwości zmienionych warunków otoczenia (np. temperatury, wilgotności). Zjawisko jest trudne do jednoznacznego zbadania ze względu na mnogość czynników je obejmujących. Zmiany zależą bowiem mogą, między innymi, od rodzaju zastosowanego proszku magnetycznie miękkiego, ilości i rodzaju użyte-

go dielektryku, ilości i rodzaju ewentualnych domieszek i, w końcu, od czynnika narażającego. Wpływ ten może znaleźć swoje odzwierciedlenie w różnych właściwościach, np. właściwościach magnetycznych, elektrycznych czy też mechanicznych.

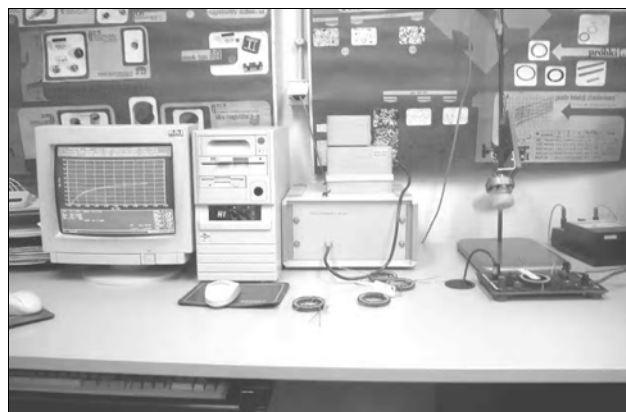
PRZYGOTOWANIE PRÓBEK I BADANIA

Dielektromagnetyki do badań starzeniowych 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 i dielektryku: żywicy epoksydowej Epidian 101 w ilości 0,1 oraz 0,2% wag.

Z przygotowanych mieszanek wyprasowano toroidy o wymiarach $\phi 50 \times \phi 60 \times 5$ mm. Zastosowano ciśnienie prasowania o wartości 800 MPa; wypraski utwardzono w piecu typu KBC G65/250 w temperaturze 200°C przez 1 godzinę. Wykonano i zmierzono po 10 sztuk toroidów w każdej z serii badań. Zmierzono właściwości fizyczne (gęstość), elektryczne (rezystywność) oraz krzywe magnesowania wykonanych dielektromagnetyków przy częstotliwości 50 i 100 Hz.

Właściwości magnetyczne próbek zmierzono 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%, co stwierdzono testami kontrolnymi z zastosowaniem światowych wzorców obwodów magnetycznych.

Na rysunku 1 przedstawiono zastosowany komputerowy system pomiarowy.



Rys. 1. Komputerowy system pomiarowy właściwości magnetycznych
Fig. 1. Computer system for magnetic properties measurements (view)

Badania właściwości magnetycznych próbek wykonano dwukrotnie. Pierwszy raz po ich wykonaniu ($t = 0$) oraz powtórnie po upływie 1 roku ($t = 365$). W okresie między pomiarami dielektromagnetyki były przechowywane w stałej temperaturze otoczenia 21°C oraz stałej wilgotności wynoszącej 55%. Aby uniknąć

błędów wynikających z wykonania uzwojeń pomiarowych, próbki do badań nie były rozzwajane. Z tego powodu w tabeli 1 podano jedynie wartości początkowe gęstości i rezystywności (nie mierzono ich w drugim etapie badań).

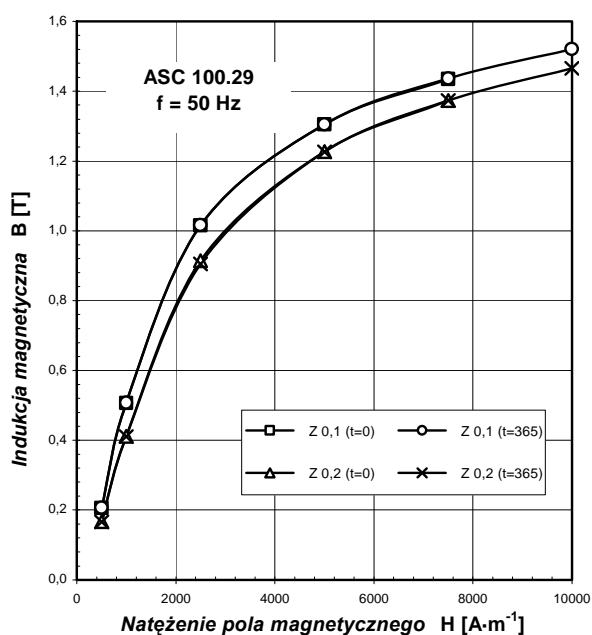
WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 2-7.

TABELA 1. Zestawienie wyników badań starzeniowych
TABLE 1. List of results of magnetic ageing phenomena

Ilość żywicy	Gęstość	Rezystywność	Indukcja B , T, dla				Indukcja remanentu B_r , T		Nateżenie koercji H_c , $A \cdot m^{-1}$		Przenikalność maksymalna względna μ_{max} , -	
			$H = 5000 A \cdot m^{-1}$		$H = 7500 A \cdot m^{-1}$		$t = 0$	$t = 365$	$t = 0$	$t = 365$	$t = 0$	$t = 365$
d	δ	ρ	$t = 0$	$t = 365$	$t = 0$	$t = 365$	$t = 0$	$t = 365$	$t = 0$	$t = 365$	$t = 0$	$t = 365$
%	$g \cdot cm^{-3}$	$\mu\Omega \cdot m$										
0,1	7,452	5,63	1,3046	1,3052	1,4345	1,4357	0,317	0,321	374	381	404,0	403,7
0,2	7,3752	11,78	1,2278	1,2263	1,3734	1,3728	0,254	0,253	385	387	329,0	331,4

Ze wzrostem ilości dielektryku gęstość dielektromagnetyków maleje, a rezystywność istotnie rośnie. Na rysunku 2 przedstawiono zmierzone krzywe magnesowania dielektromagnetyków, a na rysunku 3 wartości średniej indukcji magnetycznej przy nateżeniu pola magnetycznego wynoszących $7500 A \cdot m^{-1}$ dla obu zastosowanych ilości dielektryku zaraz po wykonaniu próbek ($t = 0$) oraz po upływie jednego roku ($t = 365$).



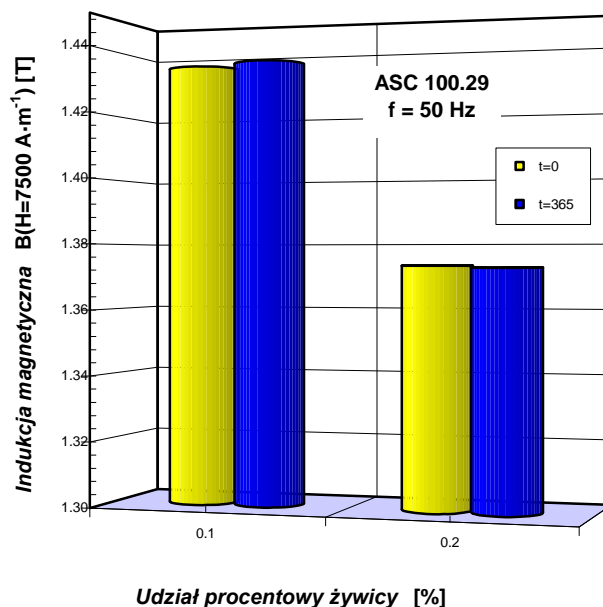
Rys. 2. Charakterystyki magnesowania badanych dielektromagnetyków

Fig. 2. Dynamic characteristics of magnetization for tested dielectromagnetics

Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi przenikalności magnetycznych, a na rysunku 5 wartości średniej maksymalnej przenikalności magnetycznej badanych dielektromagnetyków.

Zmiany krzywej magnesowania oraz przenikalności magnetycznej po jednym roku są bardzo małe i praktycznie mieszczą się w błędzie pomiarowym. Wartości charakterystyczne pętli histerezy, to jest indukcja remanentu oraz nateżenie koercji przedstawione w tabeli 1 oraz na rysunkach 6 i 7, są większe, co ma wpływ na

wielkość pętli histerezy.



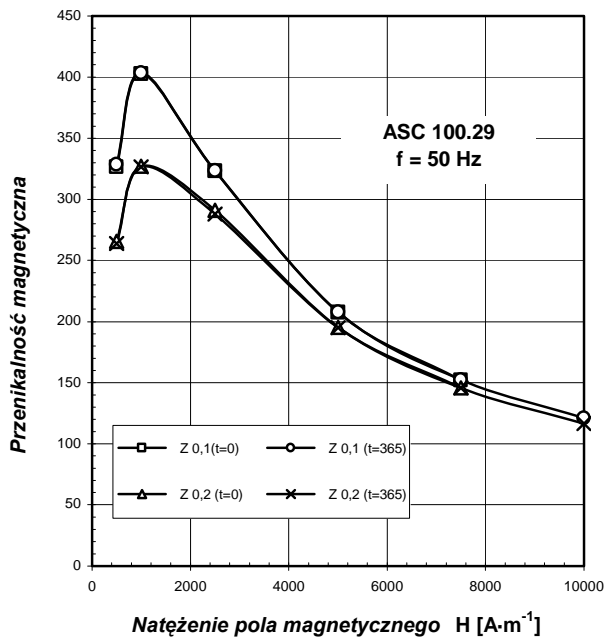
Rys. 3. Indukcja magnetyczna badanych dielektromagnetyków przy $H = 7500 A \cdot m^{-1}$

Fig. 3. Magnetization of tested dielectromagnetics at $H = 7500 A \cdot m^{-1}$

Prezentowane przebiegi krzywych magnesowania i przenikalności potwierdzają, że w dielektromagnetykach ilość dielektryku istotnie wpływa na wartości indukcji przy tym samym nateżeniu pola magnetycznego. Ilość zastosowanego dielektryku w przedstawionych dielektromagnetykach (0,1 i 0,2%) została zmniejszona w stosunku do wcześniej prezentowanych typowych materiałów tego typu [5]. Stąd krzywe te leżą powyżej krzywych magnesowania dielektromagnetyków z dodat-

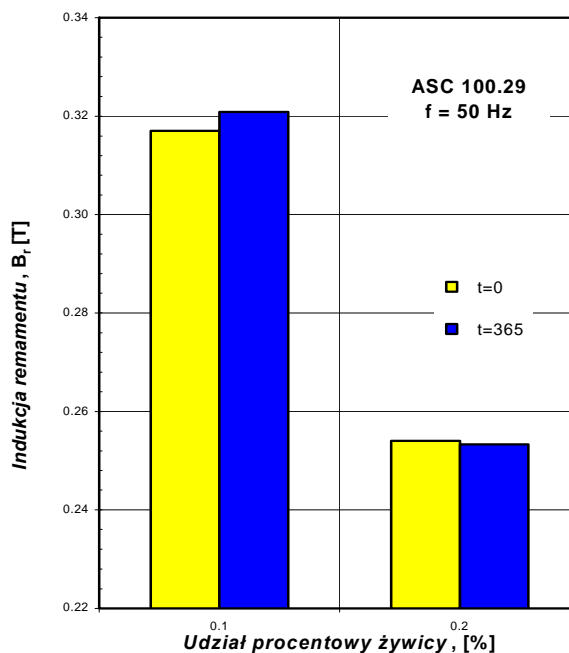
kiem większej ilości dielektryku (0,5%). Jest to korzystne z punktu widzenia zastosowania tych materiałów na elementy magnetycznie czynne.

do panujących w ogrzewanych pomieszczeniach zamkniętych, nie dochodzi do żadnych negatywnych wpływów zjawisk starzeniowych na przebieg krzywej magnesowania.



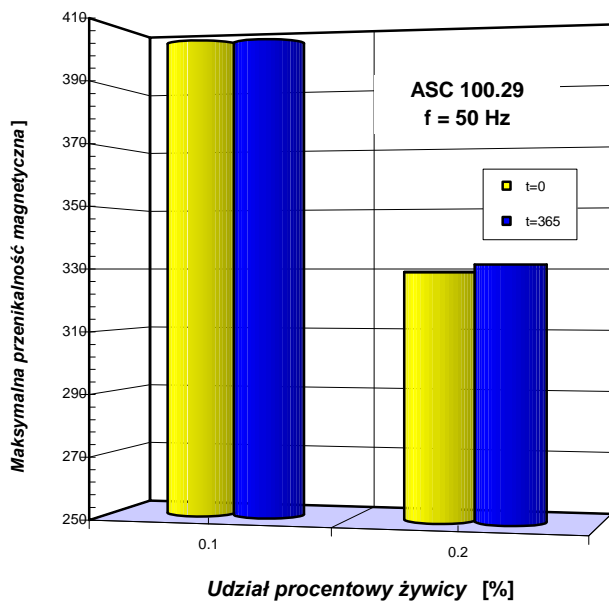
Rys. 4. Przebieg przenikalności magnetycznej badanych dielektromagnetyków

Fig. 4. Magnetic permeability of tested dielectromagnetics



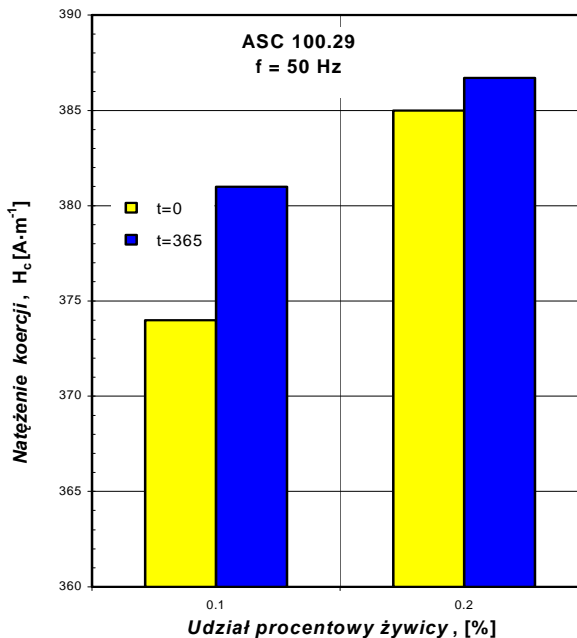
Rys. 6. Indukcja rewanentu badanych dielektromagnetyków

Fig. 6. Remanence of tested dielectromagnetics



Rys. 5. Przenikalność magnetyczna maksymalna badanych dielektromagnetyków

Fig. 5. Maximum magnetic permeability of tested dielectromagnetics



Rys. 7. Natężenie koercji badanych dielektromagnetyków

Fig. 7. Coercivity of tested dielectromagnetics

Cząsteczki żelaza nie są wprawdzie w tym przypadku tak dobrze chronione przez dielektryk przed wpływem warunków otoczenia jak przy większej zawartości żywicy, jednak wyniki badań dowodzą, że w warunkach otoczenia o wartości temperatury około 20°C i wilgotności rzędu 50%, a więc warunkach zbliżonych

PODSUMOWANIE

Badania wykazały, że przebiegi krzywych magnesowania, a więc i wartości przenikalności dielektromagnetyków nie ulegają zasadniczym zmianom w ciągu jedne-

go roku od ich wyprodukowania. Zmierzone zmiany nie przekraczają wartości 2%. Małe zmiany przedstawionych właściwości magnetycznych dotyczą nie tylko wartości średnich serii próbek, ale również maksymalne zmiany tych właściwości w poszczególnych próbkach były małe i nie przekroczyły wartości 3%.

Stołość przedstawionych parametrów potwierdza wysoką jakość proszku magnetycznie miękkiego użytego do wykonania badanych dielektromagnetyków.

Należy zauważyć, że wzrosły wartości indukcji remanentu i natężenia koercji. Stąd w wyniku zjawisk starzeniowych stratność dielektromagnetyków z histerezy najprawdopodobniej wzrosnie. Zagadnienia te stanowiąc będą kolejny etap badań.

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] Jack A.G., Experience with the Use of Soft Magnetic Composites in Electrical Machines, International Conference on Electrical Machines, September, 1998, Istanbul, 1441-1448.
- [3] 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 2000, Proceedings, 15-29.
- [4] Janta T., Węgliński B., Wpływ obróbki cieplnej na stratność dielektromagnetyków, Kompozyty (Composities) 2002, 2, 3, 91-96.
- [5] Janta T., Węgliński B., Wpływ rodzaju dielektryku na właściwości dielektromagnetyków, Kompozyty (Composities) 2003, 3, 7, 165-171.

Recenzent
Marcin Leonowicz