https://doi.org/10.62753/ctp.2003.03.7.7 KOMPOZYTY (COMPOSITES) 3(2003)7

Tomasz Janta[1], Bogumił Węgliński[2]
Politechnika Wrocławska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław

WPŁYW RODZAJU DIELEKTRYKU NA WŁAŚCIWOŚCI DIELEKTROMAGNETYKÓW

Magnetyczne kompozyty proszkowe nabierają ostatnio szczególnego znaczenia jako materiały magnetyczne do wykonania magnetowodów urządzeń elektrycznych. Szczególnym zainteresowaniem, ze względu na ich właściwości, cieszą się dielektromagnetyki. W pracy przedstawiono zmiany wybranych właściwości mechanicznych, elektrycznych i magnetycznych dielektromagnetyków wykonanych przy zastosowaniu różnych rodzajów dielektryku, w postaci żywic epoksydowych, dodanych w ilości 0,5% wagowo. Wykorzystano dielektryki dotychczas niestosowane: Amicon SE 617, Araldit K-600 oraz używane: Epidian 101 oraz Epidian 101 rozpuszczony w acetonie w proporcji 10 ml/g żywicy. W celach porównawczych wykonano wypraski bez dodatku dielektryku z proszku żelaza, tego samego, który stanowił bazę dla prezentowanych dielektromagnetyków. Dielektromagnetyki do badań wykonano jako próbki pierścieniowe (toroidalne) o wymiarach ϕ50xϕ60x5 mm, prasowane pod ciśnieniem 800 MPa i utwardzane w temperaturze 200°C w ciągu 2 godzin. Największe wartości gęstości (rys. 2) uzyskano dla kompozytów wykonanych bez dodatku dielektryku, duże dla Amiconu i Epidianu rozpuszczonego w acetonie. Zdecydowanie największą wartość rezystywności (rys. 3) uzyskano dla dielektryku Epidian/aceton, co dowodzi równomiernego rozprowadzenia warstwy tego dielektryku na powierzchniach proszku żelaza. Jest to więc efektywny sposób izolowania cząstek magnetycznych. Zastosowanie pozostałych dielektryków, które są w formie bardzo drobnego proszku, nie powoduje tak dobrej izolacji cząstek magnetycznych. Rezystywność kompozytu bez dielektryku jest oczywiście bardzo mała. Brak dielektryku powoduje, że wytrzymałość na zginanie (rys. 4) jest niewielka (rzędu 70 MPa). Największą wartość wytrzymałości (rzędu 120 MPa) uzyskano przy zastosowaniu dielektryku Epidian/Aceton, a klejący wpływ Aralditu jest niewielki (wytrzymałość około 80 MPa), co może być wynikiem większej wielkości ziaren proszku Aralditu niż pozostałych (Amicon i Epidian). Na rysunkach 5-8 przedstawiono rozdział strat dielektromagnetyków przy indukcji 0,5 oraz 1 T dla częstotliwości 50 i 200 Hz. Wartości stratności korespondują z rezystywnościami wykonanych kompozytów. Najniższą stratność uzyskano dla dielektryków z Amiconem, zaś nieco wyższą dla dielektryku Epidian/aceton. Generalnie wartości stratności dla różnych dielektryków niewiele różnią się od siebie. Przy wyższej indukcji (rys. rys. 7 i 8) różnice dla poszczególnych dielektromagnetyków zacierają się, zwłaszcza dla częstotliwości 200 Hz (rys. 8). Charakterystyki magnesowania (rys. rys. 9 i 10) wykazują praktycznie jednakowe przebiegi dla wykonanych dielektromagnetyków zarówno przy 50, jak i 200 Hz. Gorszą charakterystykę magnesowania posiada dielektromagnetyk z dodatkiem Epidian/aceton. Przebiegi charakterystyk magnesowania przekładają się na wartości przenikalności magnetycznej (rys. rys. 11-14). Badania wykazały, że w zakresie badanych częstotliwości 50÷200 Hz rodzaj zastosowanego dielektryku nie ma znaczącego wpływu na właściwości magnetyczne dielektromagnetyków. Może mieć on wpływ na niektóre właściwości, np. wytrzymałość mechaniczną czy rezystywność.

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

INFLUENCE OF A DIELECTRIC TYPE ON DIELECTROMAGNETICS PROPERTIES

Magnetic powder composites gather lately special meanings as materials for magnetic cores of electric devices. Special interest is focused on dielectromagnetics. Changes of selected mechanical, electric and magnetic properties of dielectromagnetics, executed at use of different kinds of dielectrics are presented in the paper. Various epoxy resins in quantities 0.5% by weight were used as dielectrics. It includes: Amicon SE 617, Araldit K-600 and epoxy resin which was used up till now: Epidian 101 in powder form and as diluted in acetone in proportion 10 ml/g of resin. In comparative aims one executed compacts from iron powder without addition of dielectric. This iron powder was the same as used as a base for other presented dielectromagnetics. Dielectromagnetics for tests were compacted in form of ring samples with dimensions ϕ50xϕ60x5 mm. Applied compacted pressure was 800 MPa and samples were cured at temperature 200°C in the course of 2 hours. The greatest values of density (Fig. 2) were obtained for composite executed without addition of dielectric. Quite large values one can observe for Amicon and Epidian resins diluted in acetone. Decidedly the greatest values of resistivity (Fig. 3) were obtained for Epidian in acetone. It proves uniform distribution of dielectric layers on surfaces of iron powder. Thus this is the most effective manner of magnetic particles insulating. Use of remaining dielectrics, which are in form of very tiny powder, does not cause so good insulation of magnetic particles. Resistivity of the composite without a dielectric is of course very small. Lack of a dielectric causes, that bending strength of such composite (Fig. 4) is not big (around 70 MPa). The greatest value of bending strength (around 120 MPa) was obtained at use Epidian in acetone. Sticking ability of Araldit is not satisfactory (bending strength about 80 MPa), what can be a result of greater sizes of its grains if compare with remaining dielectrics (Amicon and Epidian). Distribution of dielectromagnetics energy losses at induction 0.5 and 1 T for frequencies 50 and 200 Hz are presented in Figures 5-8. Values of losses correspond with resistivity of executed composites. The lowest losses were obtained for dielectromagnetics with Amicon, while a little bit higher for Epidian in acetone. Generally values of losses for different dielectrics little differ from oneself. At higher value of magnetic induction (Figs 7 and 8), differences of losses for tested dielectromagnetics wear away, especially for frequencies 200 Hz (Fig. 8). Magnetization characteristics (Figs 9 and 10) show practically similar, if not saying identical courses for executed dielectromagnetics, both at 50 and 200 Hz. Worse characteristic exhibits dielectromagnetic with addition of Epidian in acetone. Courses of magnetizing characteristics translate oneself on values of permeability (Figs 11-14). Research showed that, within the range of examined frequencies 50÷200 Hz, kind of applied dielectric does not have significant influence on magnetic proprieties of tested dielectromagnetics. It can have more essential influence on such proprieties as mechanical strength or resistivity.

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

[1] dr inż., [2] prof. dr. hab. inż.

WPROWADZENIE

Magnetyczne kompozyty proszkowe nabierają ostatnio szczególnego znaczenia jako materiały magnetyczne do wykonywania magnetowodów urządzeń elektrycznych.

Na magnetowody urządzeń elektrycznych, w zależności od wymagań, mogą być zastosowane różne, z punktu widzenia właściwości magnetycznych i mechanicznych, rodzaje kompozytów proszkowych.

W zależności od technologii i składu kompozyty proszkowe można podzielić na [1]:

- ***spieki*** - wytwarzane zazwyczaj z technicznie czystego proszku żelaza domieszkowanego np. krzemem, fosforem, miedzią, zależnie od ich przeznaczenia,
- ***dielektromagnetyki i magnetodielektryki*** - zawierające, oprócz proszku żelaza i domieszek, dielektryk będący środkiem izolującym, sklejającym i niekiedy poślizgowym.

Kompozyty proszkowe, po nadaniu im kształtu przez prasowanie wysokimi ciśnieniami, mogą być, w zależności od rodzaju, spiekane lub utwardzane, a także można je dodatkowo odprężać lub rekrystalizować [2].

W ostatnich latach zauważyć można zwiększone zainteresowanie magnetycznie miękkimi kompozytami proszkowymi typu dielektromagnetyk. Związane jest to z lepszymi, zdaniem badaczy, perspektywami ich zastosowań. Charakteryzują się one, w porównaniu do spieków, mniejszą stratnością, zwłaszcza z prądów wirowych. Jest to wynikiem zwiększenia rezystywności materiału, związanej z izolowaniem poszczególnych cząstek żelaza przez dielektryk. Niektóre parametry magnetyczne dielektromagnetyków, takie jak np. magnetyzacja nasycenia oraz przenikalności, są jednak istotnie gorsze niż spieków. Stąd też zastosowanie spieków w magnetowodach maszyn elektrycznych, zwłaszcza wolno przemagnesowywanych, może być uzasadnione.

Kształt magnetowodu kompozytowego, w którym zastosowano dielektromagnetyk, generowany jest w procesie prasowania mieszanki proszku w stalowej formie, stosując ciśnienie rzędu 600÷800 MPa. Po nadaniu kształtu otrzymana „zielona wypraska" jest utwardzana w temperaturze 180÷500^{o}C. Po utwardzeniu uzyskiwana jest końcowa wytrzymałość mechaniczna kształtki. Od składu i właściwości chemiczno-fizycznych zastosowanego proszku magnetycznego i dielektryku oraz od wartości parametrów wytwarzania (ciśnienie prasowania, temperatura spiekania bądź utwardzania) zależą właściwości magnetyczne i mechaniczne otrzymanego magnetowodu.

Praca dotyczy określenia wpływu zastosowanego dielektryku na parametry techniczne uzyskiwanego kompozytu dielektromagnetycznego.

CEL I PODSTAWA BADAŃ

W Instytucie Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej od wielu lat prowadzone są badania podstawowe i aplikacyjne magnetycznych kompozytów proszkowych, których podstawowym składnikiem jest magnetycznie miękki proszek żelaza. Zakres prezentowanych badań obejmuje badania dielektromagnetyków wykonanych z proszku żelaza z dodatkiem różnych dielektryków w postaci żywic epoksydowych.

Celem badań jest porównanie wybranych parametrów fizycznych i elektrycznych oraz właściwości magnetycznych dielektromagnetyków wykonanych z zastosowaniem różnych dielektryków. Szczególna uwaga poświęcona jest porównaniu właściwości badanych kompozytów z dielektrykiem dotychczas stosowanym (Epidian 101) oraz dielektrykami nowszej generacji (Araldit i Amicon). Porównanie ich właściwości powinno pozwolić na świadomą modyfikację wybranych właściwości i w wyniku tego na rozszerzenie przyszłych zastosowań tych materiałów na magnetowody urządzeń elektrycznych.

PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ

Przedstawiono wyniki badań właściwości dielektromagnetyków wykonanych z jednego typu proszku magnetycznie miękkiego (proszek Fe ATOMET 1001HP) i różnych dielektryków.

Testowano 5 rodzajów dielektromagnetyków:

- proszek Fe + Amicon SE 617,
- proszek Fe + Araldit Ku - 600,
- proszek Fe + Epidian 101,
- proszek Fe + Epidian 101 rozpuszczony w acetonie w proporcji 10 ml/g żywicy,
- proszek Fe bez dielektryku.

We wszystkich rodzajach dielektromagnetyków zastosowano 0,5% wag. dodatek dielektryku. W przypadku Epidianu rozpuszczonego w acetonie aceton był dodawany do proszku i odparowywany w trakcie mieszania.

Z przygotowanych mieszanek do badań prasowano toroidy o wymiarach ϕ50xϕ60x5 mm. Zastosowano ciśnienie prasowania o wartości 800 MPa. Wykonane wypraski utwardzano w piecu typu KBC G65/250w temperaturze 200^{o}C przez 1 godzinę.

Zmierzono zarówno właściwości fizyczne (gęstość, wytrzymałość na zginanie), elektryczne (rezystywność), jak i właściwości magnetyczne, z których, ze względu na ich dużą ilość, przedstawiono jedynie właściwości podstawowe.

Sformatowano: Normalny, Wcięcie: Pierwszy wiersz: 0 cm

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Sformatowano: Czcionka: 10,5 pt

Usunięto: ..

Sformatowano: tekst

SYSTEM POMIAROWY DO BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNYCH

Właściwości magnetyczne wykonanych próbek zmierzono za pomocą komputerowego systemu pomiarowego do badania właściwości magnetycznych kompozytów proszkowych oraz blach elektrotechnicznych MAG-RRJ-1.1. Zastosowany system pomiarowy pozwala na pomiar tych właściwości z błędem nie większym niż 1%. System testowany był z wynikiem pozytywnym światowymi wzorcami obwodów magnetycznych. Na rysunku 1 przedstawiono widok zastosowanego komputerowego systemu pomiarowego.

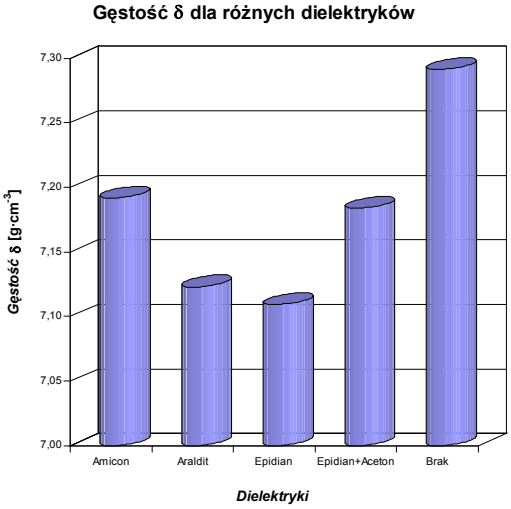
Rys. 1. Widok komputerowego systemu pomiarowego właściwości magnetycznych

Fig. 1. Computer system for magnetic properties measurements (view)

WYNIKI BADAŃ

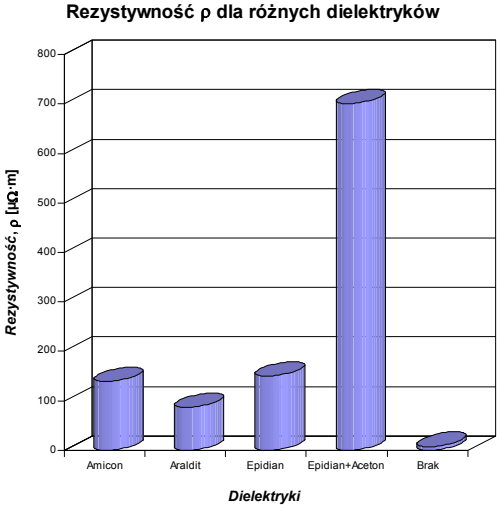
Wyniki badań przedstawiono na rysunkach 2-14. Na rysunku 2 pokazano zależność gęstości dielektromagnetyków od zastosowanego dielektryku, natomiast na rysunku 3 ich rezystywność.

Największe wartości gęstości uzyskano dla kompozy- tów wykonanych bez dodatku dielektryku (7,29 g/cm^3), co jest zrozumiałe, gdyż dodatek dielektryku o małej gęstości zwiększa objętość dielektromagnetyku i tym samym zmniejsza jego gęstość. Rozrzuty gęstości są mniejsze niż 0,1 g/cm^3. Duże wartości gęstości uzyskano dla Amiconu i rozpuszczonego w acetonie Epidianu, co może być wynikiem ich działania poślizgowego podczas prasowania. Zdecydowanie największą wartość rezystywności uzyskano dla dielektryku Epidian/aceton. Tak wysokie wartości wynikają z równomiernego rozprowadzenia warstwy tego dielektryku na powierzchniach proszku żelaza. Jest to więc efektywny sposób izolowania cząstek magnetycznych. Zastosowanie pozostałych dielektryków, które są w formie bardzo drobnego proszku, nie powoduje tak dobrej izolacji cząstek magnetycznych. Uzyskano dla nich zbliżone wartości rezystywności, jednak stanowią one jedynie 15% rezystywności najlepszego dielektromagnetyku. Rezystywność kompozytu bez dielektryku jest oczywiście bardzo mała, co wydaje się naturalne, gdyż funkcję dielektryku pełnią tu jedynie tlenki żelaza, powstałe na powierzchniach podczas składowania proszku żelaza oraz pory. Z tych powodów można go nazwać „dielektromagnetykiem bezdielektrykowym".



Rys. 2. Gęstość badanych dielektromagnetyków dla zastosowanych dielektryków

Fig. 2. Density of tested dielectromagnetics for applied dielectrics

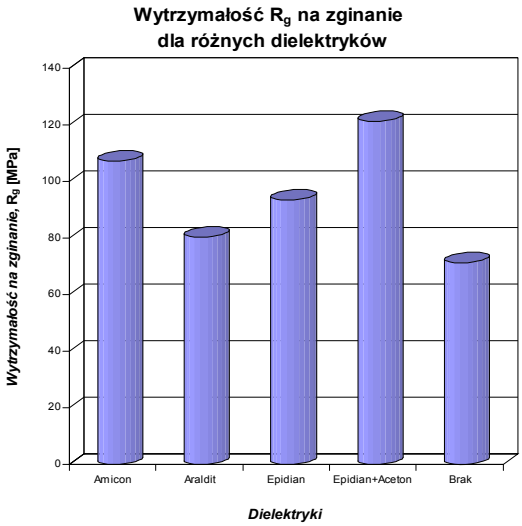


Rys. 3. Rezystywność badanych dielektromagnetyków dla zastosowanych dielektryków

Fig. 3. Resistivity of tested dielectromagnetics for applied dielectrics

Na rysunku 4 przedstawiono wytrzymałość na zginanie. Brak dielektryku powoduje, że wytrzymałość ta jest

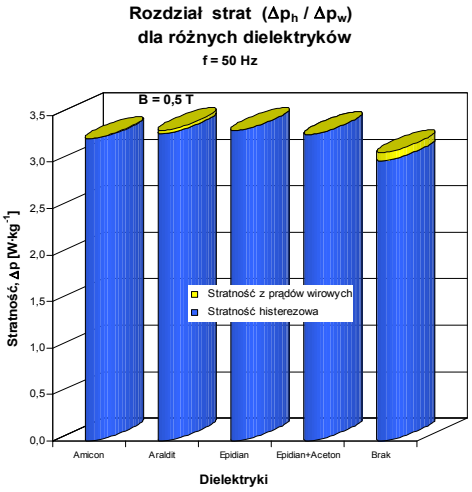
niewielka (rzędu 70 MPa). Wynika to z faktu, że jedynie wzajemne zakleszczenia ziaren proszku żelaza, otrzymane podczas prasowania, pozwalają uzyskać taką wytrzymałość. Nie występuje tu zjawisko sklejania ziaren proszku dielektrykiem. Pozostałe dielektryki sklejają dodatkowo ziarna żelaza, a ich siła klejąca zależy od ich rozmieszczenia na powierzchniach ziaren i w objętości dielektromagnetyku. Najwyższą wartość wytrzymałości (rzędu 120 MPa) uzyskano przy zastosowaniu dielektryku Epidian/Aceton. Jest to efektem tworzenia się cienkich warstw tego dielektryku na ziarnach magnetycznych, co wynika z procesu technologicznego, w którym do proszku dodawany jest rozpuszczony w acetonie Epidian. W trakcie mieszania aceton jest odparowywany, zaś Epidian tworzy cienkie i prawdopodobnie ciągłe (zależnie od ilości dielektryku) warstewki izolacji na proszku żelaza. Klejący wpływ Araldytu jest niewielki (wytrzymałość rzędu 80 MPa); może to być wynikiem większej wielkości ziaren proszku Araldytu niż pozostałych (Amicon i Epidian). Niestety, nie było możliwości wykonania analizy sitowej proszków dielektryków.



Rys. 4. Wytrzymałość na zginanie badanych dielektromagnetyków dla zastosowanych dielektryków

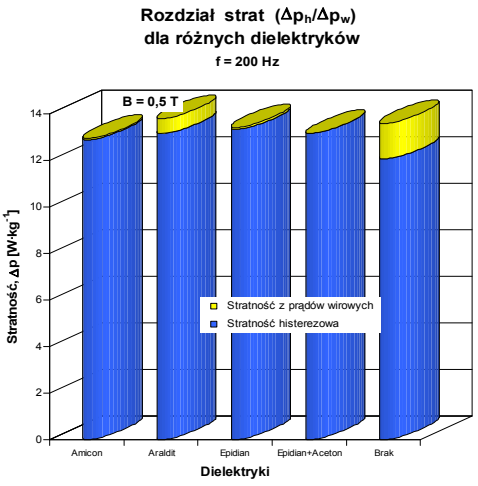
Fig. 4. Bending strength of tested dielectromagnetics for applied dielectrics

Wyniki rezystywności potwierdzają stratności przedstawione na rysunkach 5-8. Dla indukcji 0,5 T i częstotliwości 50 Hz (rys. 5) najniższą stratność uzyskano dla dielektryku Amicon, zaś nieco wyższą dla dielektryku Epidian/aceton. Porównując te dwa wyniki z wartościami rezystywności, widać, że oddziałuje tu wpływ stratności z histerezy. Jest to szczególnie widoczne przy częstotliwości 200 Hz (rys. 6), przy której stratność z prądów wirowych dla dielektryku Epidian/aceton jest mniejsza niż dla Amiconu. Generalnie wartości stratności dla różnych dielektryków niewiele różnią się od siebie. Interesujące wartości uzyskano dla kompozytów wykonanych bez dodatku dielektryku. Są one niższe niż przy zastosowaniu dielektryków i jest to wynikiem niskiej stratności z histerezy na skutek braku szczelin pomiędzy cząstkami żelaza. Stratność z prądów wirowych przy braku dielektryku jest znacząca, co koresponduje z jego wartością rezystywności. Przy wyższej indukcji (rys. rys. 7 i 8) różnice dla poszczególnych dielektryków zacierają się, zwłaszcza dla częstotliwości 200 Hz (rys. 8). Widać, że stratności całkowite wszystkich badanych dielektromagnetyków są zbli- żone, a niewielkie różnice zinterpretowano powyżej.



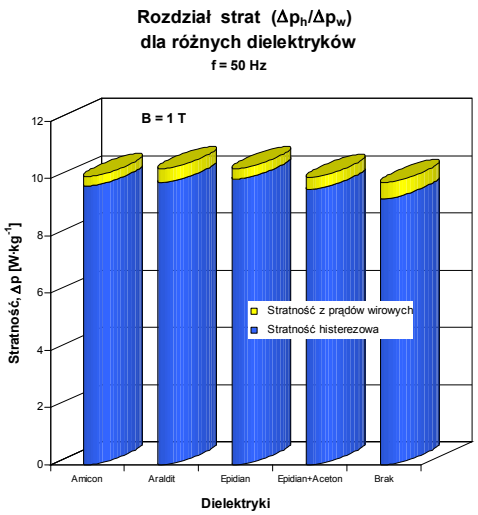
Rys. 5. Rozdział strat dla badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości f = 50 Hz i indukcji B = 0,5 T

Fig. 5. Division of energy loss for tested dielectromagnetics at frequency f = 50 Hz and magnetic induction B = 0,5T



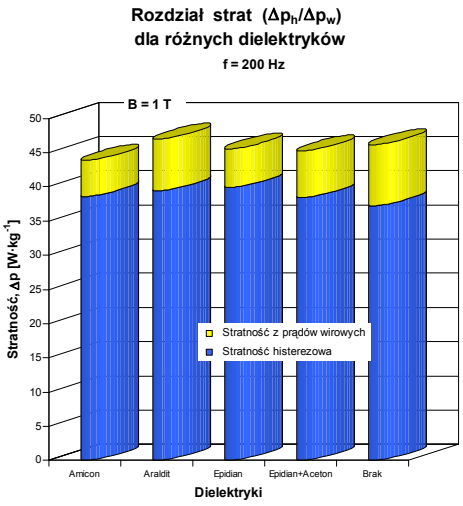
Rys. 6. Rozdział strat dla badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości f = 200 Hz i indukcji B = 0,5 T

Fig. 6. Division of energy loss for tested dielectromagnetics at frequency f = 200 Hz and magnetic induction B = 0,5T



Rys. 7. Rozdział strat dla badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 50$ Hz i indukcji $B = 1$ T

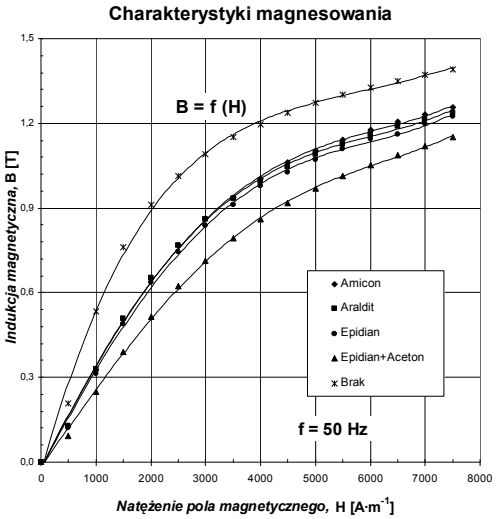
Rys. 7. Division of energy loss for tested dielectromagnetics at frequency $f = 50$ Hz and magnetic induction B = 1T



Rys. 8. Rozdział strat dla badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 200$ Hz i indukcji $B = 1$ T

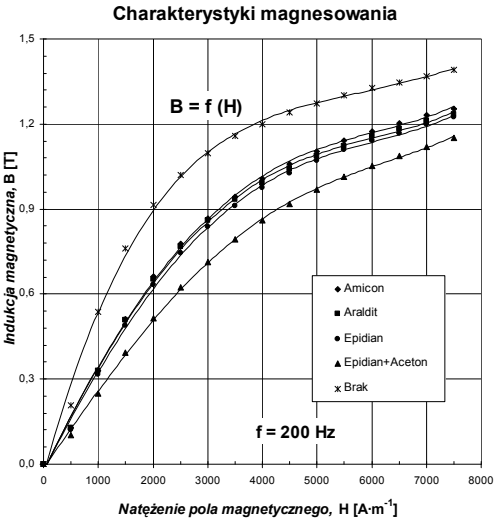
Fig. 8. Division of energy loss for tested dielectromagnetics at frequency $f = 200$ Hz and magnetic induction $B = 1$T

Charakterystyki magnesowania przedstawione na rysunkach 9 i 10 wskazują praktycznie jednakowe przebiegi dla dielektromagnetyków z zastosowaniem Amiconu, Ararditu, Epidianu, zarówno dla 50 Hz, jak i 200 Hz. Gorszą charakterystykę magnesowania posiada dielektromagnetyk z dodatkiem Epidian/aceton. Potwierdza to wcześniejsze spostrzeżenia, że ta technologia wprowadzenia dielektryku umożliwia uzyskanie cienkich i ciągłych warstewek pomiędzy cząstkami żelaza (szczeliny niemagnetyczne). W efekcie pogarsza to charakterystykę magnesowania. Brak takich szczelin polepsza charakterystyki magnesowania, co widać wyraźnie dla kompozytu wykonanego bez dielektryku. Przebiegi charakterystyk magnesowania przekładają się na wartości przenikalności magnetycznej przedstawione na rysunkach 11-14.



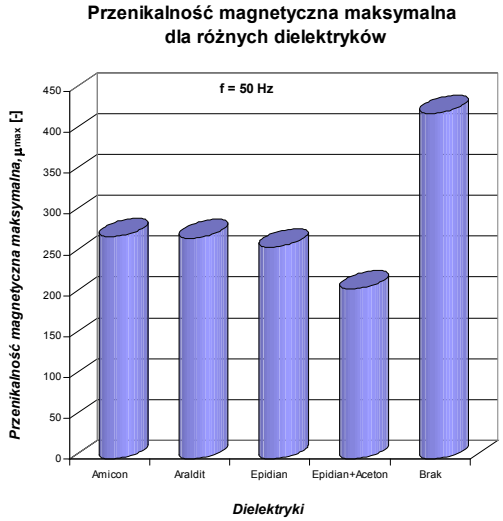
Rys. 9. Charakterystyki magnesowania badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 50$ Hz

Fig. 9. Dynamic characteristics of magnetization for tested dielectromagnetics at frequency $f = 50$ Hz



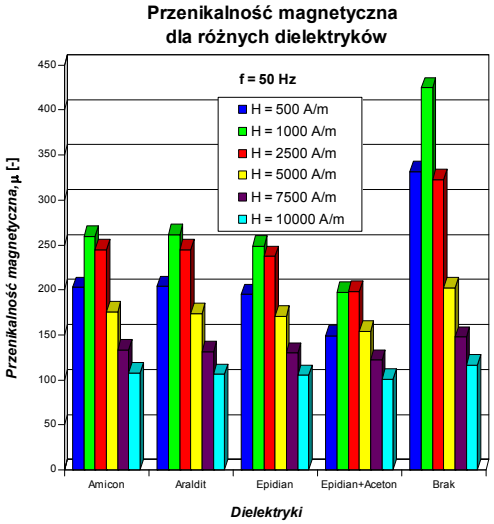
Rys. 10. Charakterystyki magnesowania badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 200$ Hz

Fig. 10. Dynamic characteristics of magnetization for tested dielectromagnetics at frequency $f = 200$ Hz



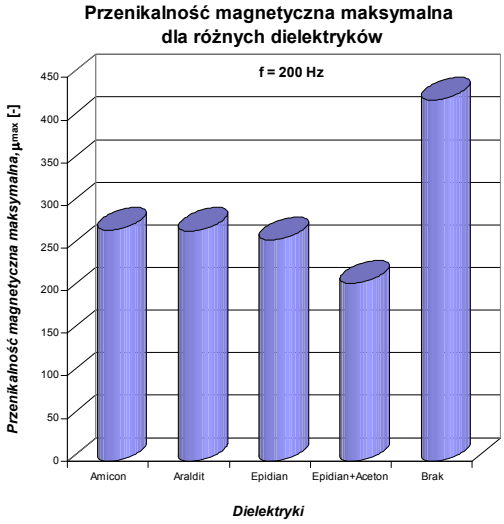
Rys. 11. Przenikalność magnetyczna maksymalna badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 50$ Hz

Fig. 11. Maximum magnetic permeability of tested dielectromagnetics at frequency $f = 50$ Hz



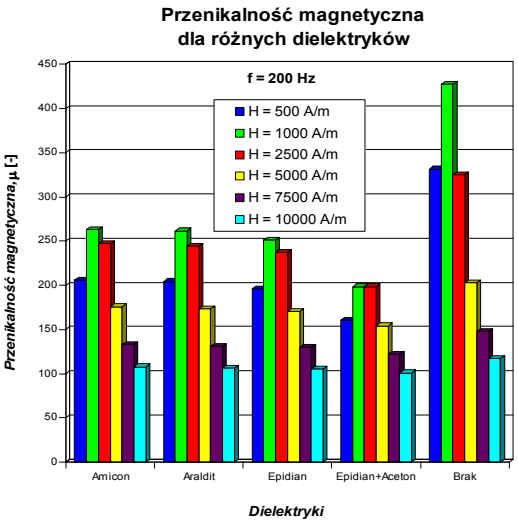
Rys. 13. Przenikalność magnetyczna badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 50$ Hz

Fig. 13. Magnetic permeability of tested dielectromagnetics at frequency $f = 50$ Hz



Rys. 12. Przenikalność magnetyczna maksymalna badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 200$ Hz

Fig. 12. Maximum magnetic permeability of tested dielectromagnetics at frequency $f = 200$ Hz



Rys. 14. Przenikalność magnetyczna badanych dielektromagnetyków przy częstotliwości $f = 200$ Hz

Fig. 14. Magnetic permeability of tested dielectromagnetics at frequency $f = 200$ Hz

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że w zakresie badanych częstotliwości 50÷200 Hz rodzaj zastosowanego dielektryku nie ma znaczącego wpływu na takie właściwości magnetyczne, jak stratność, krzywa magnesowania czy przenikalność magnetyczna.
W konkretnych przypadkach zastosowany dielektryk może mieć wpływ na niektóre właściwości. Przykładem może tu być wytrzymałość mechaniczna lub rezystywność.

Zastosowanie dielektryku rozpuszczalnego w acetonie lub w innym rozpuszczalniku, pozwala na uzyskanie lepszych, to jest cienkich i ciągłych, warstw izolujących. Stosowanie zaś dielektryków w formie proszków nie daje gwarancji dobrej izolacji (rys. 3). Cienkie i ciągłe warstwy izolujące umożliwiają uzyskanie wyższej rezystywności, ograniczającej stratność z prądów wirowych, która rośnie z kwadratem częstotliwości. Ma to duże znaczenie przy zastosowaniu tych materiałów w polach magnetycznych o dużych częstotliwościach przemagnesowania.

W świetle powyższego, najbardziej obiecujące wyniki otrzymano w przypadku zastosowania dielektryku w postaci epidianu rozpuszczonego w acetonie.

Uzyskane wyniki wskazują na celowość zbadania wpływu dwu pozostałych dielektryków, lecz dodawanych do proszku magnetycznego w formie roztworu w acetonie lub innym rozpuszczalniku.

LITERATURA

[1] Janta T., Kordecki A., Węgliński B., PM Soft Magnetic Composites versus Electrical Sheets, EURO PM 2000, Workshop on Production and Applications of Soft Magnetic Materials for Electric Motors, Munich 2000, Proceedings, 15-29.

[2] Janta T., Węgliński B., Wpływ obróbki cieplnej na stratność dielektromagnetyków, Kompozyty (Composities) 2002, 2, 3, 91-96.

Recenzent
Marcin Leonowicz