

WPLYW ZASTOSOWANIA RÓŻNEGO RODZAJU OSNOWY W MATERIAŁACH KOMPOZYTOWYCH NA ICH WŁAŚCIWOŚCI MAGNETYCZNE

Adam JAKUBAS¹, Rafał DĄBROWSKI²

1. Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny
tel.: +48 34 32 50 892 e-mail: adam.jakubas@gmail.com
2. Student Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

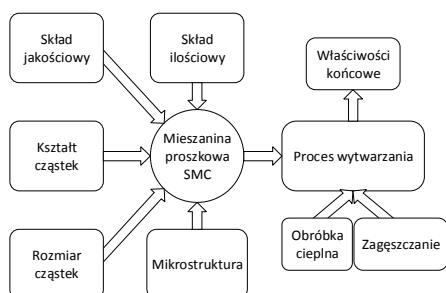
Streszczenie: W pracy przeprowadzono analizę wpływu materiału osnowy na właściwości magnetyczne miękkich materiałów kompozytowych (SMC). Badania przeprowadzono na próbkach rdzeni cylindrycznych wykonanych przez autorów z mieszaniny proszku żelaza i różnego rodzaju osnowy. Badania obejmowały wyznaczenie takich parametrów jak indukcja nasycenia B_s , natężenie koercji H_c i stratność. Pomiarów wykonano przy różnej częstotliwości wymuszenia.

Słowa kluczowe: histereza, kompozyty miękkie magnetycznie, właściwości magnetyczne,

1. WPROWADZENIE

Miękkie kompozyty magnetyczne (SMC) są przedmiotem zainteresowania środowiska naukowego i przemysłu [1,2]. Postępy w badaniach materiałów doprowadziły do sytuacji, w której SMC konkuruje z laminatami stalowymi. Korzyści wynikają głównie ze zmniejszenia strat prądów wirowych przy wysokich częstotliwościach roboczych. Ponadto zastosowanie proszku SMC pozwala na budowę obwodów magnetycznych o złożonych kształtach. Głównymi obszarami rozwoju SMC są aplikacje w przemyśle motoryzacyjnym (zawory elektromechaniczne, wtryskiwacze paliwa) oraz w maszynach elektrycznych. W zależności od parametrów surowców użytych do wytworzenia kompozytowego materiału magnetycznego, możliwe jest dostosowanie właściwości produktu do określonych zastosowań [3-5]. Ponadto koszty produkcji SMC są porównywalne z kosztami laminatów stalowych lub są nawet niższe.

Schemat procesu formowania próbek przedstawiono poniżej:



Rys. 1. Czynniki wpływające na właściwości obwodów magnetycznych wykonanych z SMC

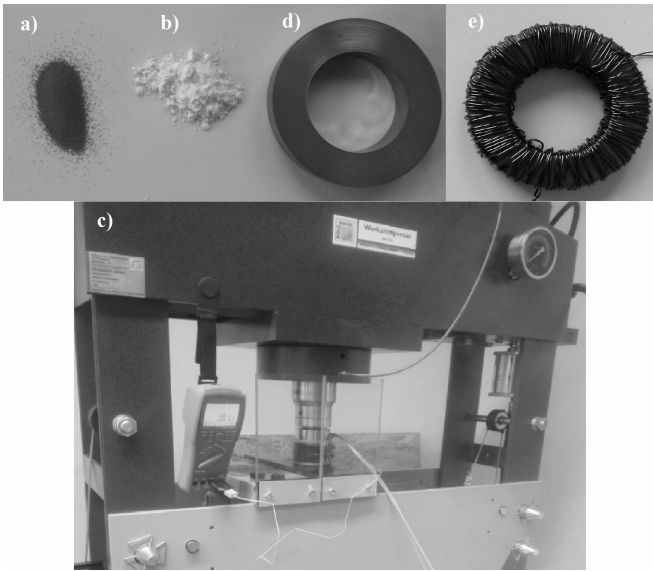
Badania wpływu procesu przetwarzania na strukturę, gęstość i właściwości magnetyczne otrzymanych wyrobów można odnaleźć m.in. w pracach Gilberta i in. [6], który testował dostępne, komercyjne materiały SMC. Inni badacze koncentrowali się na wpływie procesu obróbki termicznej i wielkości cząstek oraz upakowaniu cząstek opartych na bazie żelaza na straty energii oraz właściwości mechaniczne wytworzonych rdzeni [7, 8]. Kollár i wsp. [9] oraz Lauda i in. [10] skupili się na badaniu dynamicznych własności magnetycznych kompozytów na bazie Fe w szerokim zakresie częstotliwości wzbudzenia. Ślusarek i in. zbadała korelację gęstości SMC i własności magnetycznych gotowych rdzeni [1].

W artykule zbadano wpływ zastosowania różnego rodzaju osnowy na właściwości magnetyczne miękkich kompozytów analizując uzyskane pętle histerezy.

2. MATERIAŁ I POMIARY

2.1. Przygotowanie próbek

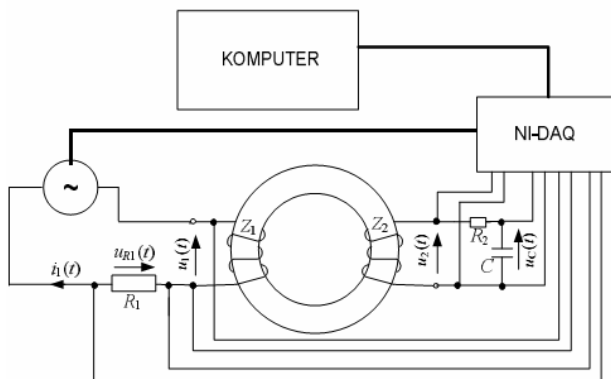
Próbki opracowano poprzez połączenie dwóch komponentów - proszku żelaza (99,5% czystości) o wielkości ziarna 100-150 μm oraz różnych typów osnowy. Jako materiał osnowy posłużyły sproszkowany suspensyjny polichlorek winylu (PVC-S), proszek teflonowy, sproszkowany wosk polietylenowy oraz olej transformatorowy. Proszek żelaza wraz z osnową zmieszano ze sobą w następującym stosunku wagowym 99,5% Fe oraz 0,5% wybranej osnowy (średnia waga wykonanych próbek wynosiła 90 g). Wyjątek stanowi tutaj olej transformatorowy, którego użyto 5 ml. Przy gęstości ok. 900 kg/m^3 (20°C) daje to również 4,5 g [13]. Wszystkie substancje pozwoliły na uzyskanie jednorodnej mieszaniny. Po wymieszaniu ze sobą, komponenty umieszczono w cylindrycznej formie i poddano procesowi formowania. W zależności od użytej osnowy proces odbywał się w temperaturze od 20 do 170 °C. Do wyprasowania próbek użyto prasy hydraulicznej o nacisku znamionowym 75 ton. Ciśnienie prasowania w końcowej fazie wynosiło 507 MPa (65T). Następnie, na tak otrzymane rdzenie nawinięto uzwojenia pierwotne U_1 i pomiarowe U_2 . Proces wytwarzania próbek przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Badany materiał na różnych etapach przygotowania: a) surowy proszek Fe, b) PVC-S, c) prasa hydrauliczna z opaską grzewczą, d) przygotowany rdzeń, e) rdzeń z uzwojeniami

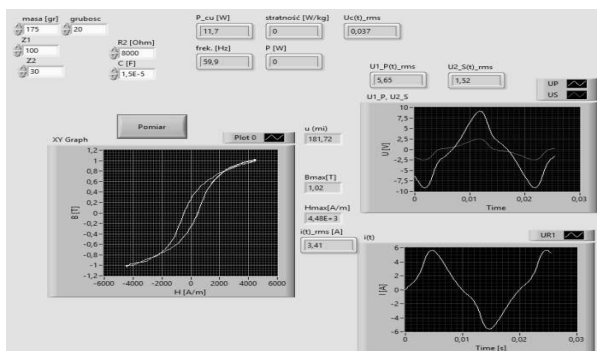
2.2. Pomiary

Właściwości magnetyczne wyznaczono przy pomocy autorskiego, sterowanego komputerowo stanowiska pomiarowego, którego schemat operacyjny przedstawiono na rysunku 3.

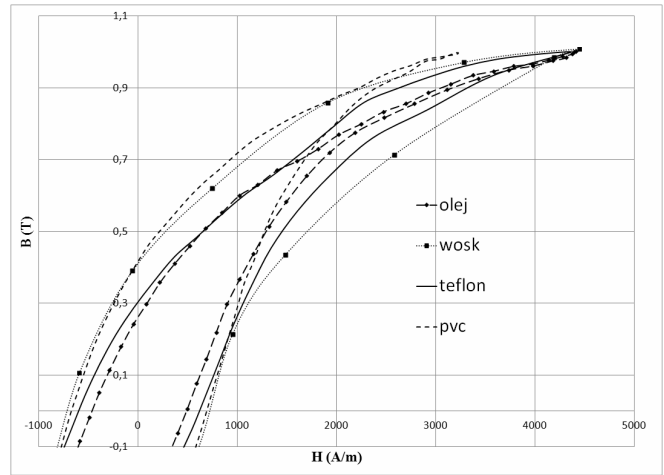


Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego

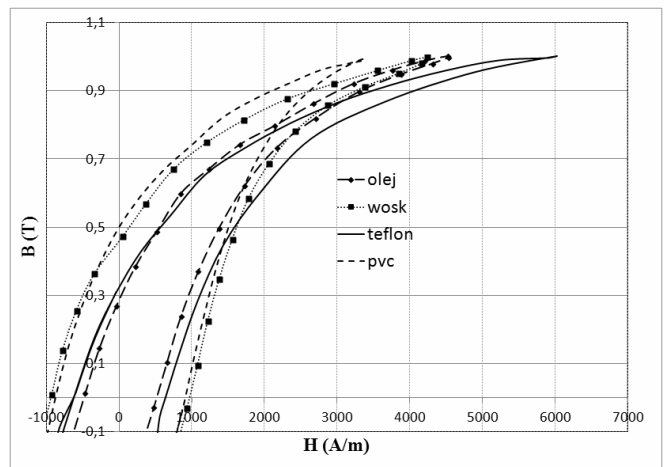
Najważniejszym elementem układu pomiarowego była karta DAQ NI PCI-6110 wraz z oprogramowaniem LabView. Generowany sygnał sinusoidalny (również za pomocą karty DAQ) został wzmacniony przy użyciu wzmacniacza mocy PLX 4000 aby uzyskać wymuszenie prądowe na rezystorze R_1 (1 Ω , moc 100 W, tolerancja 1%).



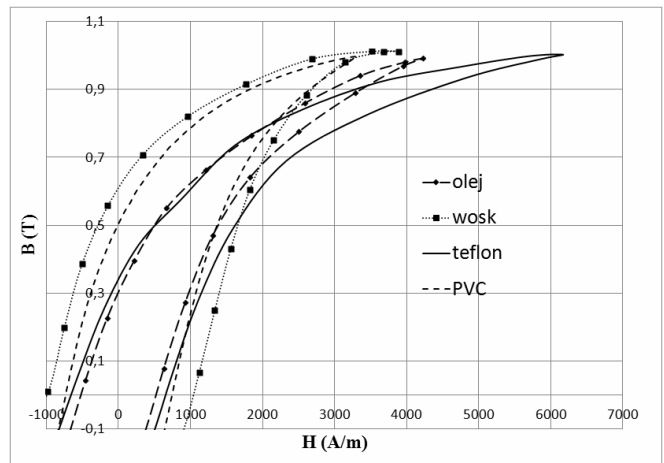
Rys. 4. Interfejs odczytu parametrów pracy układu pomiarowego



Rys. 5. Charakterystyki magnesowania próbek SMC przy częstotliwości 50 Hz



Rys. 6. Charakterystyki magnesowania próbek SMC przy częstotliwości 100 Hz



Rys. 7. Charakterystyki magnesowania próbek SMC przy częstotliwości 150 Hz

We wcześniejszych badaniach wykazano, że tego typu rdzenie osiągają wartość $B_{max} = 1,4$ T [11, 12]. W celu oceny wpływu rodzaju komponentu osnowy na właściwości magnetyczne wykonanych rdzeni przyjęto $B = 1,0$ T. Zmierzono ponadto wartości indukcji remanencji i natężenia koercji próbek. W trakcie wstępnych badań stwierdzono, że częstotliwość magnesowania ma znikomy wpływ na kształt pętli histerezy gdy $f \leq 50$ Hz. W związku z powyższym, charakterystyki przedstawione przy częstotliwości 50 Hz

można traktować jako quasi-statyczne. Na rysunkach 5-7 pokazano przebiegi krzywych magnesowania dla wartości indukcji magnetycznej $B = 1,0$ T osiągane przez próbki w zależności od zastosowanej osnowy dla częstotliwości wzbudzenia 50 Hz – 150 Hz.

W tabelicy 1 zestawiono wartości dla charakterystycznych punktów pętli histerezy wykonanych próbek. Przedstawiono maksymalną wartość natężenia pola magnetycznego oraz wartości indukcji remanencji i natężenia koercji osiągane dla $B = 1,0$ T. Na podstawie tych danych stwierdzono, że widoczny jest wpływ rodzaju osnowy na parametry magnetyczne. Szczególnie widoczne jest to w przypadku próbki w osnowie z oleju, dla której wartości natężenia pola koercji H_c była najmniejsza przy każdej z badanych częstotliwości wzbudzenia. Natomiast w przypadku próbki z woskiem PE można zaobserwować największy wzrost H_c przy zwiększeniu częstotliwości wymuszenia, z 690 A/m dla 50 Hz do 1120 A/m dla 150 Hz.

Tablica 1. Zestawienie danych pomiarowych otrzymanych przy częstotliwości wzbudzenia 50 Hz i 150 Hz

Próbka	B (T)	H (A/m)	50 Hz	
			B_r (T)	H_c (A/m)
Fe150 wosk PE	1,0	4400	0,40	690
Fe150 teflon	1,0	4355	0,30	675
Fe150 PVC	1,0	3220	0,41	680
Fe150 olej	1,0	4410	0,26	493
150 Hz				
Fe150 wosk PE	1,01	3890	0,6	1120
Fe150 teflon	1,0	6180	0,35	720
Fe150 PVC	1,0	3290	0,50	740
Fe150 olej	0,99	4220	0,30	550

W przypadku zmiany częstotliwości wzbudzenia można zaobserwować niewielkie zmiany kształtu histerezy magnesowania. Wyróżnia się próbka z teflonem, dla której przy poziome indukcji $B = 1,0$ T wartość koercji magnetycznej H wzrosła z 4355 A/m dla częstotliwości 50 Hz do wartości 6180 A/m przy częstotliwości 150 Hz. Natomiast dla próbki z osnową z PVC te wartości wynoszą odpowiednio 3220 A/m przy 50 Hz oraz 3290 A/m przy 150 Hz.

3. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie analizy zgromadzonych danych pomiarowych przedstawionych na rysunkach 5-7 oraz w tabelicy 1, można zaobserwować znaczną zależność pomiędzy rodzajem osnowy, a właściwościami magnetycznymi próbek SMC. Stwierdzono, że próbki podczas badania przy częstotliwości 50 Hz wykazują podobne właściwości magnetyczne. Można zaobserwować, że próbka z PVC ma najkorzystniejszy stosunek wartości indukcji magnesowania do stratności energii objawiający się wąską pętlą histerezy oraz stosunkowo niewielką wartością H_c . Próbka z woskiem polietylenowym nie odstaje znacząco od PVC jednak poziom indukcji 1 T osiąga pod wpływem większego pola magnetycznego. Nieco inaczej prezentują się próbki gdy częstotliwość wymuszenia zostanie podniesiona do 100 Hz lub 150 Hz. Próbka z osnową z PVC wciąż utrzymuje dobre właściwości magnesowania. Natomiast próbka w osnowie z wosku PE znacząco zwiększa straty energii związane z przemagnesowaniem i posiada największe H_c .

Zauważono, że zastosowanie oleju transformatorowego pozwoliło na uzyskanie względnie najmniejszej zmiany wartości natężenia pola koercji. Fakt ten może zostać wykorzystany do optymalizacji procesu wytwarzania rdzeni SMC. W takim przypadku olej transformatorowy dodany w niewielkiej ilości może posłużyć jako środek proadhezyjny, dzięki czemu uzyska się większą homogeniczność mieszanki PVC-żelazo.

Przedstawione dane pomiarowe pokazują, że jest możliwe wykonanie rdzeni SMC na bazie żelaza i PVC o dobrych właściwościach magnetycznych, przy użyciu łatwo dostępnych komponentów. Dla przygotowanych próbek określiliśmy podstawowe właściwości magnetyczne. Opisana w artykule metoda wytwarzania kompozytu polimerowo-metalowego jest przedmiotem zgłoszenia patentowego P.420850

4. BIBLIOGRAFIA

1. Ślusarek B., Szczygłowski J., Chwastek K., Jankowski B.: A correlation of magnetic properties with material density for soft magnetic composite cores, *COMPEL*, vol. 34(3), pp. 637-646, (2015).
2. Witryna internetowa producenta Somaloy, Höganäs (www.hoganas.com),
3. Ziębowicz B., Szewieczek D., Dobrzański L. A.: New possibilities of application of composite materials with soft magnetic properties, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2007, Vol. 20, issue 1-2, 207-210.
4. Shokrollahi H., Janghorban K.: Soft magnetic composite materials (SMCs), *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, 189, 1–12.
5. Kaleta J.: Materiały magnetyczne SMART. Budowa, wytwarzanie, badanie właściwości, zastosowanie. Oficyna Politechniki Wrocławskiej 2013.
6. Gilbert I., Bull S., Evans T., Jack A., Stephenson D., de Sa A.: Effects of processing upon the properties of soft magnetic composites for low loss applications, *J. Mater. Sci.* 39, 457 (2004).
7. Shokrollahi H., Janghorban K.: The effect of compaction parameters and particle size on magnetic properties of iron-based alloys used in soft magnetic composites, *Mater. Sci. Eng. B* 134, 41(2006).
8. Jakubas A., Gębara P., Seme S., Gnatowski A., Chwastek K.: Magnetic properties of SMC cores produced at low compacting temperature, *Acta Phys. Pol. A*, 131, 5 (2017).
9. Kollár P., Birčáková Z., Füzér J., Füzérová J., Bureš R., Fáberová M.: Wide frequency range AC magnetic properties of Fe-based composite materials. *Acta Physica Polonica-Series A General Physics*, 118(5), 759, (2010).
10. Lauda M., Füzér J., Füzérová J., Kollár P., Strečková M., Fáberová M.: Magnetic Properties of Soft Magnetic FeSi Composite Powder Cores, *Acta Phys. Pol. A* 126, 144 (2014), WoS Accession Number: WOS:000339833100069.
11. Jakubas A., Seme S.: Wpływ ciśnienia formowania materiałów kompozytowych na ich właściwości magnetyczne, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, 2017, 54, 97-100.
12. Jastrzębski R., Jakubas A.: Wpływ wielkości ziarna na właściwości magnetyczne miękkich materiałów

THE INFLUENCE OF USING VARIOUS TYPE OF BINDERS IN COMPOSITE MATERIALS TO THEIR MAGNETIC PROPERTIES

Soft magnetic composites are often used in the design of electromagnetic converters and electrical machines. Their popularity is due to the ease of molding and the ability to adapt to specific applications. The paper presents magnetic properties of cores made of iron powder and different type of binder. Samples were prepared by compression in temperature dependent from binder / Fe powder mix. Measurement of magnetic parameters revealed an change in magnetic properties with using various types of binders. The presented measurement data show that it is possible to produce of SMC cores with good magnetic properties, using readily available components and in uncomplicated production processes. Cylindrical cores were made with different types of binders, respectively: powder of suspense polyvinyl chloride, powder of polytetrafluoroethylene, powder of polyethylene wax and transformer oil. For the prepared samples we have determined their basic magnetic properties. The analysis of collected measurement data showed a significant relationship between SMC sample forming parameters and their magnetic properties. In addition, the measurements showed a poor dependence of the magnetic properties in developed SMC samples on the excitation frequency. The method of producing a polymer-metal composite described in the article is the subject of patent application P.420850

Keywords: Soft Magnetic Composites, magnetic properties, processing, measurements.