



Forum Biznes – Nauka Nano-POWER – inspiracje w branży energetycznej

7 listopada 2018 r.







Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego







Cezary Świeboda Magneto Sp. z o. o.

Wykorzystanie nanokrystalicznych materiałów magnetycznych dla potrzeb energetyki i energoelektroniki







Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego





- 1. Wstęp
- 2. Typy nanokrystalicznych rdzeni magnetycznych
- 3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych
- 4. Przykłady realizacji
- 5. Podsumowanie oraz kierunki dalszych prac



1. Wstęp



Własności fizyczne:

- grubość 10 35 μm
- twardość (skala Vickers'a) HV = 880 kg/mm²
- bardzo wysoka kruchość
- gęstość 7,2 g/cm³

Własności magnetyczne:

- indukcja nasycenia $B_s = 1,25 T$
- temperatura Curie $T_c = 570 \ ^{\circ}C$
- temperatura krystalizacji $T_x = 510 \text{ °C}$

SO RIS

NANO

Sieć Obserwatoriów

- rezystywność ρ = 130 $\mu\Omega$ ·cm
- magnetostrykcja $\lambda_s = 2 \times 10^{-6}$
- temperatura ciągłej pracy 200 °C







Etapy krystalizacji stopu Fe-Cu-Nb-Si-B





SO RIS Sieć Obserwatoriów

NANO

Wykorzystanie nanokrystalicznych materiałów magnetycznych dla potrzeb energetyki i energoelektroniki

1. Wstęp



Piece przemysłowe z systemem rekuperacji do obróbek termomagnetycznych materiałów nanokrystalicznych











2. Typy nanokrystalicznych rdzeni magnetycznych

SO RIS Sieć Obserwatoriów

NANO



Toroidalne



Toroidalne cięte



Owalne



Owalne cięte



Pakietowane



Blokowe



Kompozytowe



3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych



Układ pomiarowy do badania własności materiałów magnetycznie miękkich (zgodnie z normą IEC 60404-6:2016): a) fotografia układu, b) panel sterujący układu



SO RIS

Sieć Obserwatoriów



MAGNETO®

3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych

Wpływ ścisku o sile F = 50 N do F = 250 N naprzenikalność magnetyczną względną μ_r przy natężeniu pola H = 4 A/m dla nanokrystalicznego rdzenia toroidalnego i owalnego oraz rdzenia ze stali GO SiFe







3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych





Własności magnetyczne toroidalnego i owalnego rdzenia nanokrystalicznego **przed i po cięciu** zmierzone przy sile ścisku F = 50 N: a) krzywe magnetyzacji $B_m = f(H_m)$

- b) stratności P = f (B_m)
- c) przenikalności magnetyczne względne
 - $\mu_r = f(H_m)$ przed cięciem
- d) przenikalności magnetyczne względne $\mu_r = f(H_m)$ po cięciu





3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych **a)** 1,00 , **b)** ₇₀₀₀₀ -1 kHz 60000 0,80 🛨 20 kHz 50000 🗲 50 kHz 40000 ⊢^{0,60} 8 ÷. 30000 10 kHz 0,40 20000 🛨 20 kHz → 50 kHz 10000 0,20 0 0,00 H, A/n 0 H, A/m c) **d)**¹⁰⁰ rdzeń owalny 90 100,00 -rdzeń NMSC 80 B=0,2 70 10,00 P, W/kg 60 W/kg przy l 1,00 50 1 kHz 🗕 10 kHz 40 - 20 kHz ٩, 0,10 30 50 kHz 20 0,01 10 0,00 0,20 0,40 0,60 0,80 1,00 В, Т 10 50 20 30 40 f, kHz

Wykorzystanie nanokrystalicznych materiałów magnetycznych dla potrzeb

energetyki i energoelektroniki

SO RIS Sieć Obserwatoriów

Wyniki badań rdzenia nanokrystalicznego owalnego prostokątnego bez rozcięcia po impregnacji w zakresie częstotliwości 1, 10, 20 i 50 kHz: a) krzywe indukcji magnetycznej $\mathsf{B}_{\mathsf{m}} = (\mathsf{H}_{\mathsf{m}}),$ b) krzywe przenikalności magnetycznej względnej $\mu_r = f(H_m)$, c) krzywe stratności P = $f(B_m)$, d) porównanie charakterystyk stratności w funkcji częstotliwości rdzenia izolowanego metodą impregnacji (rdzeń owalny przed rozcięciem) oraz rdzenia pakietowanego NMSC bez izolacji





MAGNETO®

Wykorzystanie nanokrystalicznych materiałów magnetycznych dla potrzeb
energetyki i energoelektronikiSO RIS3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznychSieć Obserwatoriów





Nanokrystaliczne rdzenie pakietowane NMSC: a) fotografia rdzenia o masie ok. 6 kg z oknem wewnętrznym 105 mm x 40 mm, b) sposób pakietowania dwóch kolejnych warstw rdzenia (rdzeń 1 na 1), c) sposób pakietowania rdzenia w grupach z identycznym ułożeniem warstw w liczbie od 2 do 500



3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych

SO RIS Sieć Obserwatoriów



Linia do cięcia taśm nanokrystalicznych







3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych



Robot do pakietowania rdzeni





SO RIS Sieć Obserwatoriów



Własności magnetyczne rdzeni NMSC z różną ilością warstw: a) krzywe magnesowania b) poziomy indukcyjności L_s=f(f) porównane do własności rdzenia zwijanego amorficznego AMCC1000 ze szczeliną powietrzną 0 mm i 2 mm; gdzie T – obróbka termiczna oraz T+H – obróbka termomagnetyczna





Wpływ kierunku pola magnetycznego w czasie obróbki termomagnetycznej na przenikalności magnetyczne względne rdzeni NMSC



3. Własności magnetyczne rdzeni nanokrystalicznych









Przykładowe monoklasy proszków nanokrystalicznych używanych do formowania rdzeni: od lewej frakcja (45-100) μm, (100-250) μm, (500-750) μm





H (A/m)



4. Przykłady realizacji

Rdzeń NMSC o masie 6 kg pakietowany po 500 warstw bez warstwy ochronnej



Wizualizacja karkasu rdzenia NMSC 24 kg





SO RIS

NANO

Sieć Obserwatoriów











4. Przykłady realizacji



Impregnacja uzwojeń licowych transformatora o mocy 50 kVA przy 2,5 kHz zbudowanego na rdzeniach NMSC o masie 23 kg



SO RIS 📕

NANO

Sieć Obserwatoriów













SO RIS Sieć Obserwatoriów

Wykorzystanie nanokrystalicznych materiałów magnetycznych dla potrzeb energetyki i energoelektroniki

4. Przykłady realizacji



















Rdzenie blokowe do dławików

4. Przykłady realizacji





Nanokrystaliczny dławik: a) fotografia rdzenia z warstwą ochronną, b) rdzeń z uzwojeniami, c) możliwe konfiguracje złożenia rdzenia

Temperatury (°C) przebadanych dławików po 5-cio godzinnej pracy przy częstotliwości prądu magnesującego f=200 Hz: a) dławik z rdzeniem FeSi, b) dławik z rdzeniem nanokrystalicznym EI





SO RIS

Sieć Obserwatoriów









4. Przykłady realizacji

Porównanie własności rdzeni magnetycznych dławika, zmierzone przy f=400 Hz

Typ rdzenia	Stratności magnetyczne rdzeni, W/Kg przy temperaturze, °C		
magnetycznego	Szczelina powietrzna	Szczelina powietrzna	Szczelina powietrzna
	2,0 mm	1,2 mm	0,6 mm
Nanokrystaliczny El	2,49 W/Kg	0,87 W/Kg	0,18 W/Kg
	przy 210,8°C	przy 135,1°C	przy 85,6°C
Stalowy FeSi	3,03 W/Kg	1,26 W/Kg	0,42 W/Kg
	przy 224,6°C	przy 142,6°C	przy 87,9°C
	Redukcja poziomu stratności magnetycznej dławika z rdzeniem nanokrystalicznym w stosunku do dławika z rdzeniem stalowym SiFe		
	o 17,8%	o 30,9%	o 57,1%













SO RIS Sieć Obserwatoriów

NANO







Literatura

- 1. Hitachi Metals, Tokyo, Japan, "Nanocrystalline soft magnetic materials FINEMET"
- 2. Y. Yoshizawa, S. Oguma, K. Yamauchi, "New Fe based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure", J. Appl. Phys. 64 (1988), pp. 6044-6046
- 3. C. Świeboda, J. Leszczyński, "Influence of production technology on magnetic properties of nanocrystalline stacked and block magnetic cores", Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 92 NR 11/2016, doi:10.15199/48.2016.11.6, str. 281 285.
- 4. W. Pluta, C. Swieboda, J. Leszczynski, M. Soinski, "Some remarks on metrological properties and production technology of current transformers made of nanocrystalline cores", *Measurement*, Volume 97, February 2017, Pages 38–44.
- 5. C. Swieboda, D. Grybos, J. Leszczynski, W. Pluta, "Influence of normal-compressed stresses on measurement precision of toroidal and oval nanocrystalline cut cores used for metering", X Science and Technology Conference Innovative Materials and Technologies in Electrical Engineering i-MITEL 2018 (with cooperation with Polish Chapter PS IEEE Magnetics), Sulecin, Poland, 18-20.04.2018.
- J. Leszczyński, M. Soiński, R. Pytlech, R. Rygał, M. Pałęga, P. Pinkosz, M. Kwiecień, C. Świeboda, "Sposób wytwarzania rdzenia magnetycznego z taśmy nanokrystalicznej", Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, patent nr DP.P.401882.9.shol. Cezary Świeboda, "Wieloszczelinowe rdzenie blokowe transformatorów i dławików dla potrzeb energoelektroniki", Elektro Info, ISSN 1642-8722, nr 11/2016, str. 54 – 58
- 7. Rygał R., Leszczyński J., Świeboda C., Soiński M., Pałęga M., Kwiecień M., "Przyrząd do wyznaczania własności magnetycznych rdzeni magnetycznych ciętych", zgłoszenie patentowe nr P.421500 z dnia 27.04.2017.
- 8. IEC 60404-6:2016 Magnetic materials Methods of Measurements of the Magnetic Properties of Magnetically Soft Metallic and Powder Materials at Frequencies in the Range 20 Hz to 200 kHz by the Use of Ring Specimens. Edition 3.0, 10.2016
- 9. Soiński M., Leszczyński J., Świeboda C., Kwiecień M., *"Nanocrystalline Block Cores for High-Frequency Chokes"*, IEEE Transactions on Magnetics, vol. 50, November 2014, no. 11, part 1 of 2, article no. 2801904.
- 10. D. Grybos, J. Leszczynski, M. Kwiecien, C. Swieboda, P. Lasak, W. Pluta, R. Rygal, M. Soinski, "Properties of Fe-based nanocrystalline magnetic powder cores (MPC) and structure of particle size distribution (PSD)", Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL 69 (2018),
- 11. Soinski M., Leszczynski J., Swieboda C., Kwiecień M., *"The applicability of nanocrystalline stacked cores for power electronics"*, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, vol. 48, no. 2,3, 2015, pp. 301-307, 10.3233/JAE-152002



SO RIS Sieć Obserwatoriów

NANO





Spotkanie realizowane jest w ramach projektu "Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych w Procesie Przedsiębiorczego Odkrywania" (SO RIS w PPO)" współfinansowanego Europejską ze środków przez Unię Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Działania 1.3. Profesjonalizacja IOB Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Śląskiego na lata 2014-2020.







Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

