

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **241355**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **439399**

(22) Data zgłoszenia: **02.11.2021**

(51) Int.Cl.

C22C 38/10 (2006.01)

C22C 38/12 (2006.01)

H01F 1/01 (2006.01)

(54)

Amorficzny magnetycznie miękki stop żelaza

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

04.04.2022 BUP 14/22

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

19.09.2022 WUP 38/22

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA,
Częstochowa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MARCIN NABIAŁEK, Częstochowa, PL
BARTŁOMIEJ JEŻ, Bąkowa Góra, PL
KINGA JEŻ, Bąkowa Góra, PL**

PL 241355 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest amorficzny magnetycznie miękki stop żelaza domieszkowany gadolinem mający zastosowanie zwłaszcza w elektronice, elektrotechnice i energetyce.

Stopy o strukturze amorficznej znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu ze względu na odmienne właściwości w porównaniu do ich krystalicznych odpowiedników o tym samym składzie chemicznym. Jedną z bardziej obiecujących grup stopów stanowią masywne stopy amorficzne na osnowie Fe. Materiały te charakteryzują się tak zwanymi właściwościami magnetycznie miękkimi. Głównym parametrem definiującym właściwości magnetycznie miękkie jest wartość pola koercji. Wielkość ta opisuje natężenie zewnętrznego pola magnetycznego konieczne do rozmagnesowania materiału. W zależności od literatury uważa się, że materiały magnetycznie miękkie to te charakteryzujące się wartością pola koercji poniżej 1000 A/m lub poniżej 100 A/m.

Materiały tego rodzaju mogą być stosowane do produkcji niskoprężnych transformatorów, szczególnie pracujących przy wysokich częstotliwościach, gdzie napotyka się trudności w stosowaniu klasycznych, krystalicznych materiałów magnetycznie miękkich.

Stopy amorficzne zazwyczaj wytwarza się w postaci cienkich taśm przy dużych szybkościach chłodzenia dochodzących do 10^5 K/s. Taka szybkość chłodzenia zapewnia zestalenie stopu z pominięciem procesu porządkowania się atomów. Jednakże szybkość chłodzenia stanowi również ograniczenie technologiczne. Produkcja stopów z szybkością chłodzenia rzędu 10^5 K/s ogranicza maksymalną grubość wytwarzanych stopów do kilkudziesięciu mikrometrów. Stosując metody chłodzenia stopu w miedzianych formach, możliwe jest osiągnięcie szybkości chłodzenia z zakresu $10^1 - 10^3$ K/s, co umożliwia uzyskanie struktury amorficznej dla odpowiednio zaprojektowanego składu chemicznego.

W celu zwiększenia zdolności stopu do zeszklenia, do składu stopów na osnowie Fe-Co-B dodawane są kilkuprocentowe domieszki metali przejściowych jak Nb, Mo, Zr, V, Y. Z reguły nie są dodawane metale ziem rzadkich powodujące krystalizację stopów podczas zestalania. Odpowiednie zaprojektowanie składu chemicznego i dobór metody wytwarzania umożliwia wytworzenie stopu amorficznego o właściwościach magnetycznie miękkich z dodatkiem metali ziem rzadkich jak gadolin (Gd).

Z polskiego opisu patentowego nr 154378 znany jest amorficzny stop metali, magnetycznie miękki, przeznaczony w szczególności na rdzenie magnetyczne pracujące w zmiennych polach magnetycznych o podwyższonej częstotliwości i polach impulsowych będący na osnowie Fe i zawierający wagowo 18–21% Co, 4–8% B i Si łącznie oraz 0,05–1,0% Ta, a resztę składu stanowi Fe.

Innym znanym z polskiego opisu patentowego nr 131127 jest metalowy stop żelaza, boru i krzemu zawierający wagowo: (77 ÷ 80%) żelaza, (12% ÷ 16%) krzemu, (5% ÷ 10%) boru oraz ślady zanieczyszczeń, wytwarzany w postaci bardzo cienkich taśm.

Celem wynalazku jest otrzymanie w jednoetapowym procesie masywnego szybkochłodzonego stopu o strukturze amorficznej, którego właściwości będą charakteryzowały się wartością pola koercji poniżej 100 A/m, wysoką indukcją nasycenia (powyżej 0,8 T) oraz dobrą stabilnością temperaturą.

Istotą wynalazku jest amorficzny stop żelaza charakteryzujący się tym, że ma skład $Fe_{34}Co_{34}Nb_4W_2Gd_3B_{23}$ oraz nieuniknione zanieczyszczenia. Nieuniknione zanieczyszczenia są w ilości nie większej 0,09%.

Stop wytworzony został metodą wtlaczania ciekłego stopu do miedzianej formy chłodzonej wodą. Stop został odlany z szybkością chłodzenia około 10^2 K/s. Materiał ze stopu $Fe_{34}Co_{34}Nb_4W_2Gd_3B_{23}$ według wynalazku zawiera odpowiednio (atomowo): Fe – 34%; B – 23%; W – 2%; Co – 34%, Nb – 4%, Gd – 3% przy dopuszczalnym zanieczyszczeniu max 0,09%.

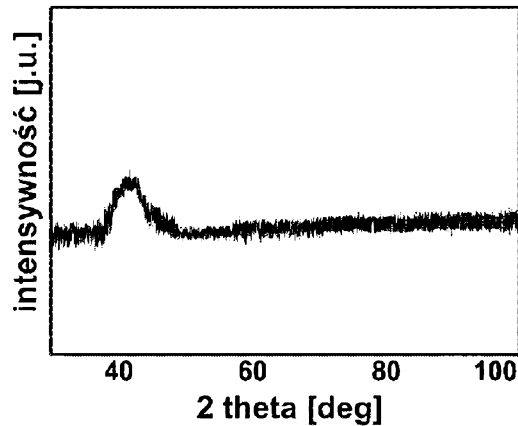
Zaletą proponowanego stopu według wynalazku w stosunku do wytwarzanych taśm amorficznych jest to, że magnetycznie miękki stop amorficzny o składzie chemicznym $Fe_{34}Co_{34}Nb_4W_2Gd_3B_{23}$ o grubości 0,5 mm można wytworzyć w jednym etapie produkcji.

Przykład stopu w przykładowym wykonaniu ma skład: Fe – 34%; B – 23%; W – 2%; Co – 34%, Nb – 4%, Gd – 3% przy zanieczyszczeniu 0,05%.

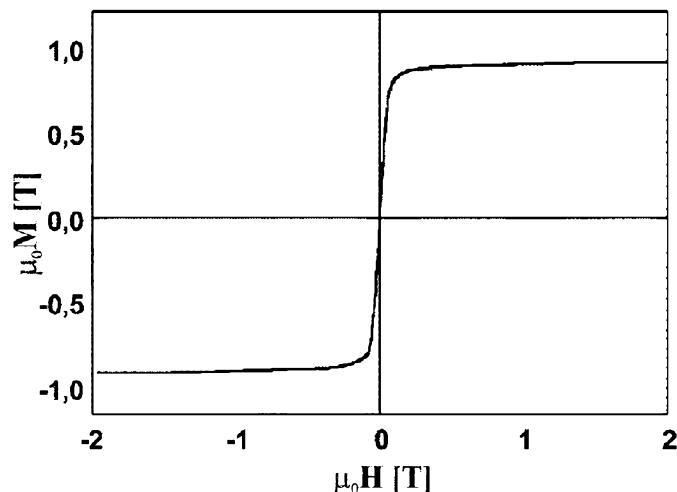
Polikrystaliczny wlew stopu $Fe_{34}Co_{34}Nb_4W_2Gd_3B_{23}$ wytworzono w piecu łukowym. Wykorzystano składniki o czystości powyżej 99,95%. Proces topienia prowadzono na miedzianej płycie chłodzonej wodą w atmosferze ochronnej argonu.

Oczyszczony wlew podzielono na mniejsze kawałki, z których wykonano stopy szybkochłodzone metodą wtlaczania ciekłego stopu do miedzianej formy. Polikrystaliczny wsad umieszczano w kwarcowym tyglu. Wsad topiono przy użyciu prądów wirowych i wtlaczano pod ciśnieniem argonu do miedzianej formy. Stop wytworzono w postaci płytek o grubości 0,5 mm, szerokości 10 mm i długości 5 mm.

Strukturę stopu $\text{Fe}_{34}\text{Co}_{34}\text{Nb}_4\text{W}_2\text{Gd}_3\text{B}_{23}$ badano przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego. Na rysunku zamieszczono zarejestrowany dyfraktogram.



Otrzymany stop charakteryzuje się strukturą amorficzną. Na dyfraktogramie widoczne jest jedynie szerokie rozmyte maksimum w zakresie $40^\circ - 50^\circ$ kąta dwa theta. Maksimum to związane jest z promieniowaniem rentgenowskim rozpraszonym na chaotycznie ułożonych atomach w objętości stopu. Wytworzony stop poddano badaniom właściwości magnetycznych przy użyciu magnetometru wibracyjnego VSM. Na rysunku zamieszczono statyczną pętlę histerezy magnetycznej zmierzoną w zakresie natężenia zewnętrznego pola magnetycznego do 2 T.



Zmierzona pętla ma kształt niemal prostokątny, typowy jak dla materiałów wykazujących właściwości magnetycznie miękkie. Wytworzony amorficzny stop charakteryzuje się wartością pola koercji $H_c = 50 \text{ A/m}$ oraz magnetyzacją nasycenia $M_s = 0,9 \text{ T}$.

W porównaniu do dotychczas istniejących masywnych stopów szybkochłodzonych z dodatkiem gadolinu stop według wynalazku charakteryzuje się właściwościami magnetycznie miękkimi i strukturą amorficzną.

Zastrzeżenie patentowe

1. Stop nanokrystaliczny żelaza **znamienny tym**, że ma skład $\text{Fe}_{34}\text{Co}_{34}\text{Nb}_4\text{W}_2\text{Gd}_3\text{B}_{23}$ oraz nieuniknione zanieczyszczenia w ilości nie większej 0,09%.