

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 245484 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **436318**

(22) Data zgłoszenia: **2020.12.10**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.06.13 BUP 24/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.08.12 WUP 33/2024**

(51) MKP:

C22C 45/02 (2006.01)

C22C 38/10 (2006.01)

C22C 38/12 (2006.01)

C22C 38/16 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ – INSTYTUT
METALI NIEŻELAZNYCH, Gliwice, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

ŁUKASZ HAWEŁEK, Górkі Śląskie, PL

MARCIN POLAK, Gliwice, PL

ADRIAN RADON, Żarnowiec, PL

TYMON WARSKI, Sosnowiec, PL

PRZEMYSŁAW ZACKIEWICZ, Łany, PL

**MAGDALENA STECZKOWSKA-KEMPKA,
Gliwice, PL**

ALEKSANDRA KOLANO-BURIAN, Gliwice, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Justyna Duda, Gliwice, PL

(54) Tytuł:

**Sposób wytwarzania wysokoindukcyjnego metalicznego kompozytu magnetycznie
miękkiego o podwyższonej odporności na utlenianie**

PL 245484 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania wysokoindukcyjnego metalicznego materiału kompozytowego o własnościach magnetycznie miękkich i podwyższonej odporności na utlenianie, przeznaczonego na elementy przekształtników prądowych.

Szkła metaliczne należą do grupy materiałów cechujących się nieporządkiem strukturalnym dalekiego zasięgu i nazywane są również stopami amorficznymi. Szkła te mogą być wytwarzane w postaci tzw. „bulków” jako materiały objętościowe o rozmiarach do 80 mm lub w postaci taśm o grubości 15–30 μm . Od lat 60-tych ubiegłego wieku opracowane są różne metody wytwarzania tych materiałów, a ich właściwości mechaniczne, chemiczne i fizyczne zależą w głównej mierze od składu chemicznego stopu. Materiały te są otrzymywane poprzez szybkie przechładzanie ciekłego stopu z prędkością ok. 10^6 K/s [doi: 10.1016/j.mtadv.2020.100077]. W zależności od zastosowań i docelowych parametrów użytkowych materiału dobierana jest odpowiednio metoda jego otrzymywania i dalsza obróbka cieplna.

Jedną z najpopularniejszych metod otrzymywania omawianych materiałów jest odlewanie ciekłego stopu na wirującym bębnie tzw. „melt-spinnig”. Pozwala ona na wytworzenie szkieł metalicznych w postaci taśmy o zdefiniowanych parametrach geometrycznych: szerokości do kilkudziesięciu milimetrów i grubości mikrometrycznej w jednym kawałku, o długości do kilkuset metrów na jeden proces odlewniczy. Metoda ta pozwala także na odlewanie materiału w trybie ciągłym [PL210049B1]. Tak wytworzone taśmy można poprzez zwinięcie do postaci rdzeni zastosować jako elementy większych układów. Takie formy szkieł metalicznych na bazie żelaza wykorzystywane są do wytwarzania amorficznych i nanokrystalicznych materiałów magnetycznie miękkich w postaci rdzeni do zastosowań w energoelektronice [doi: 10.1002/adma.201002180, PL224171B1, EP2395521A1].

Magnetyczne właściwości amorficznych i nanokrystalicznych materiałów magnetycznie miękkich zależą w pierwszej kolejności od składu chemicznego, głównie ilości w pierwiastkach ferromagnetycznych takich jak Fe, Co i Ni w obecności metaloidów B, Si czy dodatków niemetalu C, P, a także innych pierwiastków (np. Cu, Nb, Mo). W zależności od składu chemicznego optymalne właściwości magnetyczne otrzymywane są w materiale o strukturze amorficznej bądź nanokrystalicznej, a odpowiednia obróbka cieplna bądź cieplno-magnetyczna amorficznego stopu jest procesem determinującym te właściwości [doi: 10.3390/ma13061451]. Obróbki te prowadzone są w zakresie obniżonego ciśnienia (kilku Pa), bądź obecności gazu ochronnego, co zabezpiecza obrabiany materiał przed utlenieniem przyczyniającym się do degradacji właściwości magnetycznych materiału.

Jak pokazano w pracy: doi: 10.1016/j.intermet.2016.05.011, możliwe jest poprawienie właściwości antykorozyjnych oraz antyutleniających taśm amorficznych poprzez dodanie do stopu odpowiedniej ilości Mo czy Cr. Zgodnie z wynalazkiem, właściwa ilość Mo przy odpowiednich proporcjach innych pierwiastków stopowych pozwala na uzyskanie nowego materiału wysokoindukcyjnego w postaci taśmy amorficznej, którą po obróbce cieplnej w powietrzu można zastosować na elementy przekształtników prądowych.

Istotą wynalazku jest sposób wytwarzania wysokoindukcyjnego metalicznego materiału kompozytowego o własnościach magnetycznie miękkich i podwyższonej odporności na utlenianie, charakteryzujący się tym, że wytwarza się taśmę magnetycznie miękką o składzie chemicznym $\text{Fe}_{75.3}\text{Co}_5\text{Mo}_5\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ w % at. metodą formowania rotacyjnego z fazy stopionej, po czym kształtuje się z niej rdzeń toroidalny o zadanych wymiarach, a następnie tak uformowany rdzeń poddaje się wygrzewaniu w temperaturze 300–500°C w czasie 10–60 minut w podciśnieniu.

Wynalazek ilustruje poniższy przykład wykonania, niestanowiący jego ograniczenia.

1. Przygotowanie stopu wstępnego:

- a) naważenie pierwiastków i zapraw stopowych zgodnie ze składem chemicznym $\text{Fe}_{75.3}\text{Co}_5\text{Mo}_5\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ [% at.], na 10 kg stopu: żelazo Armco – 6793 g, kobalt – 570 g, molibden – 927 g, miedź – 86 g, zaprawa stopowa FeB_{18} – 1624 g,
- b) wytworzenie stopu za pomocą próżniowego pieca indukcyjnego w następujących krokach:
 - odpompowanie komory pieca do podciśnienia rzędu 5 Pa,
 - rozgrzanie i topienie indukcyjne naważki do temperatury 1500°C,
 - homogenizacja ciekłego stopu w temp. 1500°C w ciągu 10 min,
 - odlanie ciekłego stopu o temperaturze około 1250°C do żeberkowej wlewnicy żeliwnej.

2. Wytworzenie taśmy magnetycznie miękkiej o składzie chemicznym $\text{Fe}_{75.3}\text{Co}_5\text{Mo}_5\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ [% at.] za pomocą formowania rotacyjnego z fazy stopionej:
 - a) umieszczenie w tyglu kwarcowym, z przygotowaną szczeliną o szerokości 6 mm, grubości 0,4 mm i długością wylewki 5 mm, stopu przygotowanego w punkcie 1 o masie ok. 1 kg po uprzednim wyżarzeniu w celu odprężenia,
 - b) grzanie i doprowadzenie do stanu ciekłego stopu w tyglu kwarcowym umieszczonym w cewce indukcyjnej i uzyskanie temperatury 1250°C na stopie w obecności podciśnienia 2–3 kPa,
 - c) wypchnięcie ciekłego stopu o temperaturze 1250°C przez szczelinę tygla, poprzez zastosowanie nadciśnienia 27 kPa, na rotujący bęben miedziany o prędkości obrotowej 1250 obr/min,
 - d) oderwanie uzyskanej poprzez przechłodzenie stopu taśmy od bębna miedzianego poprzez nadmuch strumienia powietrza o ciśnieniu 400 kPa przez dyszę o przekroju 1 x 25 mm,
 - e) zwinienie ręczne bądź mechaniczne uzyskanej taśmy metalicznej o składzie $\text{Fe}_{75.3}\text{Co}_5\text{Mo}_5\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ [% at.].
3. Wytworzenie kompozytu magnetycznie miękkiego w postaci rdzenia toroidalnego:
 - a) uformowanie rdzenia toroidalnego o średnicy wewnętrznej 20 mm i średnicy zewnętrznej 30 mm z taśmy $\text{Fe}_{75.3}\text{Co}_5\text{Mo}_5\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ [% at.] poprzez nawinięcie i zgrzanie oporowe, punktowe, końców taśm do uformowanego rdzenia, w celu ochrony przed rozwinięciem,
 - b) przeprowadzenie obróbki cieplnej rdzenia w temperaturze 400°C w czasie 20 minut w rurowym piecu próżniowym przy ciśnieniu 5×10^{-2} mbara,
 - c) wystudzenie rdzenia z piecem.

Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób wytwarzania wysokoindukcyjnego metalicznego materiału kompozytowego o własnościach magnetycznie miękkich i podwyższonej odporności na utlenianie, **znamienny tym**, że wytwarza się taśmę magnetycznie miękką o składzie chemicznym $\text{Fe}_{75.3}\text{Co}_5\text{Mo}_5\text{Cu}_{0.7}\text{B}_{14}$ w % at. metodą formowania rotacyjnego z fazy stopionej, po czym kształtuje się z niej rdzeń toroidalny o zadanych wymiarach, a następnie tak uformowany rdzeń poddaje się wygrzewaniu w temperaturze 300–500°C w czasie 10–60 minut w podciśnieniu.