

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **223496**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **399321**

(22) Data zgłoszenia: **28.05.2012**

(51) Int.Cl.

**B23P 17/00 (2006.01)**

**C21D 8/12 (2006.01)**

(54) **Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**15.04.2013 BUP 08/13**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.10.2016 WUP 10/16**

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,  
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JERZY STODOLNY, Bochnia, PL  
KATARZYNA STODOLNA, Bochnia, PL  
HENRYK ADRIAN, Kraków, PL  
RUDOLF KAWALLA, Bobritzsch, DE  
ALEKSANDRA CZYRSKA-FILEMONOWICZ,  
Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Elżbieta Postolek**

**PL 223496 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al, które znajdują zastosowanie na elementy magnetowodów wirujących maszyn elektrycznych.

Z opisu patentowego PL 158875 znany jest sposób wytwarzania nieorientowanej blachy elektrotechnicznej, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo 0,025–0,04% węgla, 0,20–0,50% manganu, 2,6–3,1% krzemu, 0,2–0,5% glinu oraz niewielkie ilości innych składników występujących jako zanieczyszczenia, przy czym wlewki z tej stali walcuje się na kęsiska płaskie, a następnie na blachę gorącowałcowaną o grubości około 2,2 mm w temperaturze do 1300°C, którą po wytrawieniu walcuje się na zimno do grubości 0,35–0,50 mm w jednym lub dwu etapach i z kolei poddaje wyżarzaniu. Najpierw przeprowadza się wyżarzanie odwęglające blachy w piecach przelotowych w nawilgoconej atmosferze azotowo-wodorowej przy temperaturze 800–900°C, po czym zwiną się ją w kręgi, które wyżarza się w atmosferze suchego wodoru lub suchej mieszaniny wodorowo-azotowej przy temperaturze 950–1150°C, po czym blachę poddaje się przelotowemu wyżarzaniu prostującemu przy temperaturze 800–870°C.

Ponadto opis patentowy PL 194747 przedstawia sposób wytwarzania blachy elektrotechnicznej o nieorientowanym ziarnie z materiału wyjściowego, zawierającego w % masowych: węgiel w ilości  $\leq 0,06\%$ , krzem w ilości 0,03–2,5% krzemu, glin w ilości  $\leq 0,4\%$ , mangan w ilości 0,05–1,0%, siarkę w ilości  $\leq 0,02\%$  oraz opcjonalnie jako dodatki stopowe P, Sn, Sb, Zr, V, Ti i/lub B o łącznej zawartości do 1,5% masowych, reszta żelazo oraz typowe pierwiastki towarzyszące, w postaci nagrzanego i wstępnie walcowanego wlewka lub stosowanej bezpośrednio taśmy odlewanej, względnie cienkiego wlewka wprowadza się przy temperaturze wejściowej  $\leq 1100^\circ\text{C}$  do zespołu walcarek wykańczających i walcuje się na gorąco do postaci taśmy o grubości  $< 3,5$  mm przy końcowej temperaturze walcowania  $\geq 770^\circ\text{C}$ , po czym taśmę zwiną się i trawi. Następnie w kilku przejściach walcuje się taśmę na zimno do grubości 0,2–1 mm przy całkowitym zgniocie wynoszącym maksymalnie 85%, przy czym taśmę walcowaną na gorąco poddaje się trawieniu bez uprzedniego wyżarzania, a taśmę po walcowaniu na zimno poddaje się wyżarzaniu końcowemu.

W opisie patentowym PL 205577 ujawniono skład walcowanej na gorąco taśmy stalowej do produkcji nieorientowanej blachy elektrotechnicznej oraz sposób jej wytwarzania. Z wytopionej stali zawierającej wagowo C:  $< 0,02\%$ , Mn:  $\leq 1,2\%$ , Si: 0,1–4,4%, Al: 0,1–4,4%, gdzie suma zawartości Si i podwójnej zawartości Al jest mniejsza od 5%, a ponadto zawierającej P:  $< 0,15\%$ , Sn:  $\leq 0,20\%$ , Sb:  $\leq 0,20\%$ , zaś resztę stanowi żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia odlewa się kęsiska płaskie, które poddaje się ciągłemu walcowaniu na gorąco w jednym lub więcej przejściach, przy czym co najmniej jedno przejście prowadzi się w temperaturze, w której taśma ma strukturę austenityczną. Następne przejścia prowadzi się w temperaturach, w których taśma ma strukturę ferrytyczną, natomiast końcowe walcowanie – w temperaturze niższej niż 850°C.

Ponadto w japońskim zgłoszeniu JP2001192788 ujawniono stal na blachy elektrotechniczne, która zawiera wagowo:  $\leq 0,01\%$  węgla,  $< 3,0\%$  krzemu,  $< 2,0\%$  manganu,  $\leq 0,01\%$  siarki,  $< 3,0\%$  aluminium,  $< 0,1\%$  fosforu,  $< 0,005\%$  azotu, reszta żelazo.

Celem wynalazku jest ekonomiczne wytworzenie nieorientowanych blach elektrotechnicznych o małej stratności, szczególnie przy wysokich częstotliwościach i o małej anizotropii własności magnetycznych ze stali niskowęglowej o podwyższonej rezystywności i obniżonej gęstości, zawierającej jako dodatek stopowy aluminium.

Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al według wynalazku, polega na tym, że ze stali zawierającej wagowo: max. 0,06% węgla, max. 0,4% krzemu, 0,05–1,0% manganu, 0,5–10,0% aluminium, max. 0,025% fosforu, max. 0,035% siarki, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia odlewa się kęsisko płaskie, które walcuje się na gorąco na grubość 1,4–3,5 mm, a następnie po wytrawieniu walcuje się na zimno na blachę o założonej grubości. Następnie blachę poddaje się najpierw wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych w temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, a następnie wyżarzaniu końcowemu w temperaturze 850–1100°C w atmosferze wodoru.

Korzystnie po wytrawieniu blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekryystalizacji.

Korzystnie po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

W innej wersji sposobu wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali o składzie podanym powyżej odlewa się kęsisko płaskie, które po przewalcowaniu na gorąco na blachę o grubości 1,4–3,5 mm, wytrawieniu i przewalcowaniu jej na zimno, poddaje się ją wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, po czym poddaje się ją kolejnemu walcowaniu na zimno na blachę o założonej grubości w co najmniej jednym etapie. Następnie blachę poddaje się najpierw wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych w temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, a następnie wyżarzaniu końcowemu w temperaturze 850–1100°C w atmosferze wodoru.

Korzystnie po wytrawieniu oraz po wyżarzaniu międzyoperacyjnym blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekrytalizacji.

Korzystnie po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

W następnej wersji sposobu wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali o składzie podanym powyżej odlewa się kęsisko płaskie, które po przewalcowaniu na gorąco na blachę o grubości 1,4–3,5 mm i po wytrawieniu, przewalcowaniu jej na zimno, wyżarzaniu międzyoperacyjnym, kolejnym walcowaniu na zimno oraz wyżarzaniu odwęglającym poddaje się następnemu walcowaniu na zimno na blachę o założonej grubości gniotem krytycznym z zakresu 4–20%, po czym blachę poddaje się wyżarzaniu końcowemu.

Korzystnie przed każdym procesem walcowania na zimno blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekrytalizacji.

Korzystnie po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

W kolejnej wersji sposobu wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali o składzie podanym powyżej odlewa się kęsisko płaskie, które po przewalcowaniu na gorąco na blachę o grubości 1,4–3,5 mm, wytrawieniu, przewalcowaniu jej na zimno, wyżarzaniu odwęglającym poddaje się następnemu walcowaniu na zimno na blachę o założonej grubości gniotem krytycznym z zakresu 4–20%, po czym blachę poddaje się wyżarzaniu końcowemu.

Korzystnie przed każdym procesem walcowania na zimno blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekrytalizacji.

Korzystnie po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest to, że ze stali niskowęglowej, zawierającej jako dodatek stopowy aluminium otrzymuje się nieorientowane blachy elektrotechniczne o małej stratności, szczególnie przy wysokich częstotliwościach i o małej anizotropii własności magnetycznych tych blach, które służą do budowy obwodów magnetycznych wirujących maszyn elektrycznych.

**P r z y k ł a d I.** Stal zawierającą wagowo: 0,06% węgla, 0,039% krzemu, 4,11% Al, 0,12% manganu, 0,015% fosforu, 0,021% siarki, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia odlano w kęsisko płaskie, które po nagrzeniu do temperatury 1250°C przewalcowano na blachę o grubości ok. 2 mm, po czym wykonano wyżarzanie wstępne blachy przy temperaturze 800°C, a następnie wytrawiono ją w kwasie siarkowym. Z kolei blachę walcowano na zimno na grubość 0,5 mm i poddano ją najpierw wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych przez okres 1 minuty w temperaturze 800°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5% H<sub>2</sub>, a następnie wyżarzaniu końcowemu przez okres 15 minut w temperaturze 900°C w atmosferze wodoru.

Otrzymana blacha charakteryzuje się następującymi własnościami magnetycznymi:

stratność  $P_{1/50} = 1,42$  W/kg i  $P_{1,5/50} = 3,01$  W/kg

indukcja  $B_{25} = 1,68$  T.

**P r z y k ł a d II.** Ze stali o składzie jak w przykładzie I odlano kęsisko płaskie, które po nagrzeniu do temperatury 1250°C przewalcowano na grubość ok. 3,3 mm, po czym otrzymaną blachę poddano wyżarzaniu wstępnemu przez okres 10 minut w temperaturze 850°C, a następnie po wytrawieniu w kwasie siarkowym wykonano najpierw walcowanie na zimno na grubość 1 mm. Z kolei blachę po wyżarzaniu międzyoperacyjnym w piecach przelotowych przez okres 5 minut w temperaturze 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5% H<sub>2</sub> przewalcowano po raz drugi na zimno na końcową grubość 0,3 mm, po czym, blachę poddano najpierw wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych przez okres 1 minuty w temperaturze 800°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5% H<sub>2</sub>, a następnie wyżarzaniu końcowemu przez okres 15 minut w temperaturze 900°C w atmosferze wodoru. Otrzymana blacha uzyskała następujące własności:

stratność  $P_{1/50} = 0,63$  W/kg,  $P_{1,5/50} = 1,57$  W/kg i  $P_{1/400} = 12,5$  W/kg;  
indukcję  $B_{25} = 1,71$  T.

**P r z y k ł a d III.** Ze stali zawierającej wagowo: 0,026% węgla, 0,035% krzemu, 5,1% Al, 0,11% manganu, 0,025% fosforu, 0,021% siarki, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia odlano kęsisko płaskie, które po nagraniu do temperatury 1250°C przewalcowano na blachę o grubości 3,35 mm, po czym poddano ją wyżarzaniu wstępnemu przez okres 10 minut przy temperaturze 850°C, a następnie wytrawiono ją w kwasie siarkowym. Z kolei blachę po walcowaniu na zimno na grubość 1 mm poddano najpierw wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w piecach przelotowych przez okres 5 minut w temperaturze 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5%  $H_2$ , a następnie kolejnemu walcowaniu na zimno na grubość 0,32 mm, po czym blachę poddano najpierw wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych przez okres 5 minut w temperaturze 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5%  $H_2$ . Po odwęgleniu blachę znowu przewalcowano na zimno z gniosem krytycznym 9,4% na końcową grubość 0,29 mm, a następnie wyżarzano przez okres 1 godziny w temperaturze 950°C w atmosferze wodoru. Otrzymana blacha uzyskała następujące właściwości:

stratność  $P_{1/50} = 0,74$  W/kg,  $P_{1,5/50} = 1,88$ ;  
indukcję  $B_{25} = 1,65$  T.

**P r z y k ł a d IV.** Ze stali o składzie jak w przykładzie III odlano kęsisko płaskie, które po nagraniu do temperatury 1250°C przewalcowano na grubość 2,1 mm, po czym otrzymaną blachę poddano wyżarzaniu wstępnemu przez okres 5 minut w temperaturze 900°C, a następnie po wytrawieniu w kwasie siarkowym wykonano walcowanie na zimno na grubość 0,54 mm. Z kolei blachę po wyżarzaniu odwęglającym w piecach przelotowych przez okres 1 minuty w temperaturze 800°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5%  $H_2$  przewalcowano na zimno na grubość końcową 0,5 mm z gniosem krytycznym 7,4%, a następnie wyżarzaniu końcowemu przez okres 1 godziny w temperaturze 950°C w atmosferze wodoru. Otrzymana blacha uzyskała następujące właściwości:

stratność  $P_{1/50} = 1,13$  W/kg,  $P_{1,5/50} = 2,76$  W/kg;  
indukcję  $B_{25} = 1,54$  T.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 0,4% krzemu, 0,05–1,0% manganu, max. 0,025% fosforu, max. 0,035% siarki, 0,5–10,0% aluminium, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia, a odlane kęsisko płaskie walcuje się na gorąco na grubość 1,4–3,5 mm, a następnie po wytrawieniu walcuje się na zimno na blachę o założonej grubości, po czym poddaje się ją wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych w temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, **znamienny tym**, że po wyżarzaniu odwęglającym blachę poddaje się wyżarzaniu końcowemu w temperaturze 350–1100°C w atmosferze wodoru.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że po wytrawieniu blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekrytalizacji.

3. Sposób według zastrz. 2 albo 3, **znamienny tym**, że po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawieniem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

4. Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 0,4% krzemu, 0,05–1,0% manganu, max. 0,025% fosforu, max. 0,035% siarki, 0,5–10,0% aluminium, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia, a odlane kęsisko płaskie walcuje się na gorąco na blachę o grubości 1,4–3,5 mm, a następnie po wytrawieniu walcuje się na zimno w co najmniej jednym etapie, po czym poddaje się ją wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, **znamienny tym**, że po walcowaniu na zimno blachę poddaje się wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, po czym walcuje się ją znów na zimno na blachę o założonej grubości, a po wyżarzaniu odwęglającym blachę poddaje się wyżarzaniu końcowemu w temperaturze 850–1100°C w atmosferze wodoru.

5. Sposób według zastrz. 4, **znamienny tym**, że po wytrawieniu oraz po wyżarzaniu międzyoperacyjnym blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekrytalizacji.

6. Sposób według zastrz. 4 albo 5, **znamienny tym**, że po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

7. Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 0,4% krzemu, 0,05–1,0% manganu, max. 0,025% fosforu, max. 0,035% siarki, 0,5–10,0% aluminium, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia, a odlane kęsisko płaskie walcuje się na gorąco na blachę o grubości 1,4–3,5 mm, a następnie po wytrawieniu walcuje się na zimno w co najmniej jednym etapie, po czym poddaje się ją wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, **znamienny tym**, że po walcowaniu na zimno blachę poddaje się wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, po czym walcuje się ją znów na zimno, a po wyżarzaniu odwęglającym walcuje się na zimno na blachę o założonej grubości gniotem krytycznym z zakresu 4–20%, po czym poddaje się wyżarzaniu końcowemu w temperaturze 850–1100°C w atmosferze wodoru.

8. Sposób według zastrz. 7, **znamienny tym**, że przed każdym procesem walcowania na zimno blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekrytalizacji.

9. Sposób według zastrz. 7 albo 8, **znamienny tym**, że po walcowaniu na gorąco a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

10. Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 0,4% krzemu, 0,05–1,0% manganu, max. 0,025% fosforu, max. 0,035% siarki, 0,5–10,0% aluminium, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia, a odlane kęsisko płaskie walcuje się na gorąco na blachę o grubości 1,4–3,5 mm, a następnie po wytrawieniu walcuje się na zimno w co najmniej jednym etapie, po czym poddaje się ją wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych temperaturze max. 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej, **znamienny tym**, że po wyżarzaniu odwęglającym walcuje się znów na zimno na blachę o założonej grubości gniotem krytycznym z zakresu 4–20%, po czym poddaje się wyżarzaniu końcowemu w temperaturze 850–1100°C w atmosferze wodoru.

11. Sposób według zastrz. 10, **znamienny tym**, że przed każdym procesem walcowania na zimno blachę podgrzewa się do temperatury poniżej temperatury rekrytalizacji.

12. Sposób według zastrz. 10 albo 11, **znamienny tym**, że po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

