

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **223497**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **399322**

(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-Si**

(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 223497 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al-Si, 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 zwija 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 zwija 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 dodatki stopowe aluminium wraz z krzemem.

Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al-Si według wynalazku, polega na tym, że ze stali zawierającej wagowo: max. 0,06% węgla, max. 3,5% 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 rekryształizacji.

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 Fe-Al-Si 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 Fe-Al-Si 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 Fe-Al-Si 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 dodatki stopowe aluminium wraz z krzemem 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: 0,028% węgla, 1,92% krzemu, 0,75% Al, 0,32% manganu, 0,023% fosforu, 0,013% siarki, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia odlano w kęsisko płaskie, które po nagrzaniu do temperatury 1250°C przewalcowano na blachę o grubości ok. 2 mm, po czym po wytrawieniu w kwasie siarkowym blachę przewalcowano jednoetapowo na zimno na grubość 0,5 mm. Następnie blachę poddano najpierw wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych przez okres 5 minut w temperaturze 800°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5% H₂, a następnie wyżarzaniu końcowemu przez okres 10 godzin w temperaturze 950°C w atmosferze wodoru. Pierwsze wyżarzanie spowodowało usunięcie węgla do 35 ppm i rekrytalizację pierwotną, natomiast kolejne wyżarzanie spowodowało rozrost ziaren do zakresu ich optymalnej wielkości oraz rafinację w stanie stałym, polegającą na usunięciu części siarki i azotu zawartych w stali, dzięki czemu otrzymana blacha wykazała:

stratność $P_{1/50} = 1,26$ W/kg i $P_{1,5/50} = 2,84$ W/kg;
indukcję $B_{25} = 1,63$ T.

P r z y k ł a d II. Ze stali zawierającej wagowo: 0,032% węgla, 2,03% krzemu, 1,15% Al, 0,28% manganu, 0,012% fosforu, 0,012% siarki, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia odlano kęsisko płaskie, które po nagrzaniu do temperatury 1250°C przewalcowano na grubość ok. 2,2 mm, po czym po wytrawieniu w kwasie siarkowym przewalcowano na zimno na blachę o grubości pośredniej 0,7 mm. Następnie blachę poddano wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w piecach przelotowych przez okres 5 minut w temperaturze 900°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5% H₂,

po czym przewalcowano ją na zimno na końcową grubość 0,35 mm. Następnie blachę poddano najpierw wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych przez okres 5 minut w temperaturze 800°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5% H₂, a następnie wyżarzaniu końcowemu przez okres 10 godzin w temperaturze 950°C w atmosferze wodoru. Otrzymana blacha uzyskała następujące własności:

stratność $P_{1/50} = 1,14$ W/kg i $P_{1,5/50} = 2,50$ W/kg;

indukcję $B_{25} = 1,63$ T.

P r z y k ł a d III. Stal o składzie jak w przykładzie I poddano takim samym operacjom technologicznym, dodając jedynie pomiędzy walcowaniem na gorąco a wytrawianiem operację wyżarzania wstępnego przez okres 1 godziny w temperaturze 800°C. Pozwoliło to uzyskać blachę o następujących własnościach magnetycznych:

stratność $P_{1/50} = 1,14$ W/kg i $P_{1,5/50} = 2,50$ W/kg;

indukcję $B_{25} = 1,63$ T.

P r z y k ł a d IV. Stal o składzie jak w przykładzie II poddano takim samym operacjom technologicznym, dodając jedynie po walcowaniu na gorąco, a przed trawieniem proces wyżarzania wstępnego przez okres 2 minut w temperaturze 920°C. Otrzymana blacha uzyskała następujące własności;

stratność $P_{1/50} = 1,06$ W/kg i $P_{1,5/50} = 2,43$ W/kg;

indukcję $B_{25} = 1,62$ T.

P r z y k ł a d V. Ze stali zawierającej wagowo: 0,036% węgla, 2,17% krzemu, 0,90% Al, 0,32% manganu, 0,015% fosforu, 0,011% siarki, reszta żelazo i nieuniknione zanieczyszczenia odlano kęsisko płaskie, które po nagrzeniu do temperatury 1250°C przewalcowano na grubość ok. 2.2 mm, po czym po wytrawieniu w kwasie siarkowym przewalcowano na zimno na blachę o grubości pośredniej 0,5 mm. Następnie blachę poddano wyżarzaniu odwęglającemu w piecach przelotowych przez okres 5 minut w temperaturze 800°C w wilgotnej atmosferze azotowo-wodorowej o zawartości 5% H₂, a następnie po walcowaniu na zimno z gniosem krytycznym 7,4% na końcową grubość 0,5 mm, blachę poddano wyżarzaniu końcowemu przez okres 1 godziny w temperaturze 950°C w atmosferze wodoru. Otrzymana blacha uzyskała następujące własności:

stratność $P_{1/50} = 0,97$ W/kg i $P_{1,5/50} = 2,33$ W/kg;

indukcję $B_{25} = 1,67$ T.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al-Si, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 3,5% 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 850–1100°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. 1 albo 2, **znamienny tym**, że po walcowaniu na gorąco, a przed wytrawianiem blachę poddaje się wyżarzaniu wstępnemu w temperaturze 800–1100°C.

4. Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al-Si, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 3,5% 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-Si, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 3,5% 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 800–100°C.

10. Sposób wytwarzania nieorientowanych blach elektrotechnicznych ze stali Fe-Al-Si, w którym wytapia się stal zawierającą wagowo: max. 0,06% węgla, max. 3,5% 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 850–100°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.

