



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 26. 11. 77 (P. 202 451)

Pierwszeństwo: 26. 11. 76 Japonia

Zgłoszenie ogłoszono: 19. 06. 78

Opis patentowy opublikowano: 02. 01. 1983

Int. Cl.² C21D 1/78
H01F 1/04

CZYTELNIA

Urzędu Patentowego
Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej

Twórca wynalazku _____

Uprawniony z patentu: KAWASAKI STEEL CORPORATION, Kobe-Ci-
ty (Japonia)

**Sposób wytwarzania arkuszy ze stali krzemowej, nie orientowanej,
o wysokiej indukcji magnetycznej i o niskich stratach
w ferromagnetyku**

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania arkuszy ze stali krzemowej, nie orientowanej, o wysokiej indukcji magnetycznej i o niskich stratach w ferromagnetyku.

Arkusze ze stali krzemowej, nie orientowanej są głównie stosowane w wirniku, stojanie i podobnych elementach maszyn wirujących. Natomiast, kiedy stosuje się je w dużych wirujących maszynach, wymaga się od nich aby miały one bardzo niskie straty w ferromagnetyku w celu obniżenia strat mocy generatora.

Arkusze ze stali krzemowej, nie orientowanej, o niskich stratach w ferromagnetyku mają zwykle małą indukcję magnetyczną. Na przykład, arkusz mający 3 W/kg strat w ferromagnetyku przy 1,5 T ma niższą indukcję magnetyczną przy 5 000 A/m o 3—4% w porównaniu z 6 W/kg. Kiedy arkusze stali elektrycznej mają małą indukcję magnetyczną używa się je do produkcji urządzeń elektrycznych, rdzeń musi mieć odpowiednio duże wymiary i przez to urządzenie jako całość ma dużą objętość.

W celu wyeliminowania tych niedogodności do dużych generatorów turbinowych stosuje się na rdzenie stojanów arkusze ze stali krzemowej o strukturze zorientowanej. Jednakże koszt wytwarzania arkusza ze stali krzemowej, orientowanej jest wysoki, przy czym arkusz ma bardzo słabe własności magnetyczne w kierunku prostopadłym do kierunku walcowania.

W związku z tym istniała potrzeba opracowania

2

sposobu wytwarzania nie orientowanych arkuszy ze stali krzemowej mających wysoką indukcję magnetyczną i niskie straty w ferromagnetyku, eliminującego wspomniane niedogodności.

5 W walcowaniu na zimno stali krzemowej, nie orientowanej straty z histerezy zajmują 65—75% strat ogólnych i ulegają one zmniejszeniu ze wzrostem wielkości ziarn wyrobu. Typowy sposób wytwarzania arkusza ze stali elektrycznej o niskich stratach w ferromagnetyku przebiega następująco.

10 Arkusz stalowy walcowany na gorąco poddaje się dwukrotnemu walcowaniu na zimno z wyżarzaniem międzyoperacyjnym w celu zmniejszenia jego grubości do grubości ostatecznej, i w tym przypadku ostateczne walcowanie na zimno przeprowadza się małym ubytkiem względnym około 10%. Ziarna kry-

15 staliczne o odpowiedniej wielkości rozwijają się w arkuszu podczas ostatecznego wyżarzania przez wykorzystanie wprowadzonej energii odkształcającej.

20 Natomiast uzyskana indukcja magnetyczna jest niska z powodu przypadkowej orientacji ziaren.

25 Sposób wytwarzania arkuszy ze stali elektrycznej nie orientowanej o niższej zawartości strat w ferromagnetyku niż wskazane w tabeli jest omówiony w opisie patentowym Stanów Zjednoczonych Ameryki nr 3 203 839. W tym sposobie arkusz walcowany na gorąco zawierający 1,5—3,5% wagowych Si i 0,5—1,5% wagowych Al poddaje się dwukrotnemu walcowaniu na zimno. Przy każdym walcowaniu na zimno ubytek wagowy wynosi 50—80% w czasie

Tabela I

Norma	JIS C2552			AISI	DIN	BS	NF	GOST
Wielkość	S-09	S-10	S-12					
Maksymalne straty w ferromagnetyku $W_{15/50}$ *								
grubość: 0,35 mm	2,40	2,65	3,10	2,53	2,70	2,50	2,70	
grubość: 0,50 mm	2,90	3,10	3,60	2,93	3,30	3,55	3,10	3,40
Minimalna indukcja magnetyczna B_{50} **	1,58	1,59	1,60					

* Straty w ferromagnetyku W/kg przy 1,5 T i 50 Hz.

** Indukcja magnetyczna (T) przy polu magnetycznym 5 000 A/m.

*** 0,36 mm

**** 0,47 mm

krótkiego okresu wyżarzania międzyoperacyjnego pomiędzy walcowaniem na zimno, i arkusz walcowany na zimno poddaje się ostatecznemu wyżarzaniu (wyżarzanie czyste) w temperaturze od 1 000 do 1 100°C przez 5–40 godzin dla uzyskania arkusza stali elektrycznej, a grubości 0,30 mm i stratach w ferromagnetyku 2,17–2,68 W/kg ($W_{15/50}$). Te wartości są równoważne 2,32–2,83 W/kg przy grubości 0,35 mm i następnie odpowiada od S-09 do S-12 w tabeli 1, która podaje normy głównych krajów odnoszące się do najwyższych gatunków walcowanej na zimno stali krzemowej, nie orientowanej.

Natomiast, indukcje magnetyczne nie są wysokie: 1,43–1,55 T przy 1995 A/m i te wartości są ekwiwalentne do 1,54–1,65 T przy 5 000 A/m.

Poza tym, kiedy zostanie osiągnięta wysoka temperatura ostatecznego wyżarzania dodaje się tlenek glinowy albo tlenek magnezowy do arkusza przed wyżarzaniem, w celu zapobiegania przylepianiu się arkuszy w kręgach podczas wyżarzania, i następnie usuwa się go po wyżarzaniu a otrzymany po wyżarzaniu arkusz stalowy musi być płaski. Dlatego też koszt wytwarzania arkusza stali elektrycznej jest wysoki w tym sposobie.

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu wytwarzania walcowanego na zimno arkusza stali elektrycznej, nie orientowanej o wysokiej indukcji magnetycznej i niższych stratach w ferromagnetyku niż w konwencjonalnych arkuszach stali elektrycznej. W ten sposób, przedmiotem wynalazku jest otrzymywanie arkuszy ze stali elektrycznej o indukcji magnetycznej B_{50} nie mniejszej niż 1,67 T przy polu magnetycznym 5 000 A/m i stratach w ferromagnetyku nie większych niż 2,4 W/kg i 2,9 W/kg przy 1,5 i 50 Hz odpowiednio przy arkuszach o grubości 0,35 mm i 0,05 mm.

Drugim celem wynalazku jest dostarczenie sposobu wytwarzania tak doskonałych arkuszy ze stali elektrycznej przez ekonomicznie prowadzony proces wyżarzania.

Dalszym celem wynalazku jest dostarczenie arkusza stali elektrycznej odpowiedniego dla wytwarzania rdzenia żelaza o zmniejszonych wymiarach i niskich stratach w ferromagnetyku przez powyżej opisaną metodą, w prosty sposób i mniej kosztowny.

Cele te zostały zrealizowane dzięki wynalazkowi. Według wynalazku sposób wytwarzania arkuszy

ze stali krzemowej nie orientowanej, o wysokiej indukcji magnetycznej i o niskich stratach w ferromagnetyku, w którym wlewki stalowy lub kęsisko stalowe zawierający nie więcej niż 0,02% C, 1,6–3,5% Si, 0,2–2,5% Al, 0,1–1,0% Mn, nie więcej niż 0,005% S, nie więcej niż 0,025% O i resztę stanowi zasadniczo Fe, walcuje się na gorąco. Następnie arkusz walcowany na gorąco najpierw poddaje się walcowaniu na zimno przy ubytku względnym nie mniejszym niż 20% dla uzyskania arkusza walcowanego na zimno o grubości pośredniej, następnie arkusz ten poddaje się wyżarzaniu międzyoperacyjnemu, po czym arkusz wyżarzony międzyoperacyjnie poddaje się drugiemu walcowaniu na zimno przy ubytku względnym od 45 do 70% dla otrzymania arkusza walcowanego na zimno o ostatecznej grubości i tak rozwałcowany arkusz na zimno poddaje się ostatecznemu wyżarzaniu w temperaturze od 930°C do 1000°C w czasie od 2 do 15 minut.

Sposób według wynalazku charakteryzuje się tym, że przeprowadza się wyżarzanie międzyoperacyjne w temperaturze od 900°C do 1050°C w czasie od 3 do 15 minut dla wzrostu ziarn krystalicznych tworzących arkusz aż do ziarn krystalicznych o pośredniej wielkości nie mniejszej niż 0,07 mm.

W obecnym wynalazku skład wyjściowego wlewka stalowego albo kęsiska stalowego wiąże się z pewnymi uzasadnieniami.

Kiedy gotowy produkt którym jest arkusz ze stali krzemowej nie orientowanej, zawiera nie mniej niż 0,005% C, to następuje zakłócenie w wytrącaniu się węgla oraz pogorszenie własności magnetycznych produktu.

Dlatego też zawartość węgla w wyjściowym wlewieku stalowym lub kęsisku nie może być większa niż 0,02%, korzystnie nie więcej niż 0,01%, przy założeniu, że w poszczególnych etapach produkcji wyrobu gotowego węgiel jest usuwany.

Si ma zadanie podnieść oporność właściwą stali i tym samym zapobiec wytwarzaniu się prądów wirowych w rdzeniu żelaza, w ten sposób obniżając jego straty w ferromagnetyku.

Natomiast, arkusz stalowy zawierający więcej niż 3,5% Si jest trudny do walcowania na zimno i dlatego zawartość Si w wyjściowym wlewieku stalowym albo kęsisku nie może być większa od 3,5%.

Natomiast gdy, wyjściowy wlewki stalowy lub kę-

sisko zawiera mniej niż 1,6% Si, wtedy w strukturze wlewka przy ogrzewaniu wlewka albo kęsiska przed walcowaniem na gorąco powstaje żelazo. Dlatego też zawartość Si w wyjściowym wlewkach stalowym albo kęsisku powinna być w granicach od 1,6 do 3,5%. Przyczyna dla której należy zapobiegać tworzeniu się żelaza γ jest następująca.

Rozpuszczalność siarki i azotu w żelazie γ jest znacznie wyższa niż w żelazie α i siarka oraz azot wydzielają się w następnych etapach w postaci drobnych cząstek siarczków i azotków utrudniając wzrost ziarna krystalicznego podczas wyżarzania międzyoperacyjnego i ostatecznego.

Al ma taki sam wpływ jak Si, ale gdy wyjściowy wlewki stalowy albo kęsisko stalowe zawiera więcej niż 2,5% Al, występują trudności w walcowaniu na zimno, arkusza przewalcowanego na gorąco, podczas gdy wyjściowy wlewki stalowy albo kęsisko stalowe zawiera mniej niż 0,2% Al, duża ilość azotu rozpuszcza się we wlewkach stalowych albo kęsiskach stalowych przy nagrzewaniu przed walcowaniem na gorąco, i wydzielają się drobne cząsteczki Al i N hamujące wzrost ziarna krystalicznych. Dlatego, ilość Al zawarta w wyjściowym wlewkach stalowych albo kęsiskach stalowych musi być zawarta w granicach 0,2—2,5%.

Ponadto, zgodnie z wynalazkiem uzyskuje się dobre wyniki, kiedy ilość całkowita zawartość Si i Al zawarta w wyjściowym wlewkach stalowych lub kęsiskach jest mniejsza niż 4,3%.

Kiedy ilość Mn zawarta w wyjściowym wlewkach stalowych jest mniejsza niż 0,1%, wlewki stalowe albo kęsiska stalowe wykazuje kruchość na gorąco i arkusz walcowany na gorąco jest podatny na pękanie podczas walcowania na gorąco.

Natomiast, gdy ilość Mn jest większa niż 1,0% to arkusz ze stali krzemowej nie orientowanej ma słabe własności magnetyczne. Dlatego zawartość Mn w wyjściowym wlewkach stalowych lub kęsiskach musi być w granicach 1—1,0%.

Kiedy wyjściowy wlewki stalowy albo kęsisko zawiera więcej niż 0,005% S albo więcej niż 0,0025% O, to duża ilość drobnych wtrąceń o wielkości cząsteczek 20—100 m pozostaje w gotowym, rozwałcowanym na zimno arkuszu i co uniemożliwia wzrost ziarna krystalicznych w arkuszu ze stali podczas wyżarzania międzyoperacyjnego i ostatecznego. Dlatego, pożądane jest aby ilość S i O zawarta w wyjściowym wlewkach stalowych albo kęsiskach była ograniczona odpowiednio do nie więcej niż 0,005% i nie więcej niż 0,0025%.

Pożądane jest aby ilość S, wynosiła nie więcej niż 0,004%. Kiedy ilość S i O zawarte w wyjściowym wlewkach stalowych albo kęsiskach są ograniczone do powyżej wymienionych wartości, ilość drobnych wtrąceń obecna w ostatecznie rozwałcowanym na zimno arkuszu jest bardzo mała, i ziarna krystaliczne rozrastają się w arkuszu podczas ostatniego wyżarzania.

Następnie, kiedy wyjściowy wlewki stalowy albo kęsisko zawiera 0,005—0,03% dodatku metali ziem rzadkich (dalej omawianych jako REM), a temperatura ogrzewania dla wlewka stalowego albo kęsiska przed walcowaniem na gorąco może być wyższa i wtrącenia te tworzą aglomeraty o dużych wy-

miarach, które nie wpływają niekorzystnie na wzrost ziarna krystalicznych. Dlatego, zastosowanie takiego wlewka stalowego lub kęsiska jest korzystne.

- 5 Wyjściowy wlewki stalowy albo kęsisko może zawierać nie więcej niż 0,2% P. Taka ilość P nie wpływa niekorzystnie na własności magnetyczne powstałego arkusza ze stali krzemowej nieorientowanej. Ponadto, Ca albo związki Ca mogą być użyte jako 10 środek odsiarczający, do zmniejszenia ilości S zawartej w roztopionej stali do powyżej podanej granicy.

W obecnym wynalazku, jako materiał wyjściowy można stosować wlewki stalowe albo kęsiska o wyżej omówionym składzie. Przy rafinacji stopionej stali, można stosować wszelkie tradycyjne procesy rafinacji. Stopiona rafinowana stal może być odlewana tradycyjnie do wlewnic albo można z niej wykonywać bezpośrednio kęsisko stalowe przez odlewanie w sposób ciągły.

Opisany, wyjściowy wlewki stalowy albo kęsisko ogrzewa się w celu walcowania na gorąco. Kiedy wlewki stalowy albo kęsisko nie ma dodatków w postaci pierwiastków ziem rzadkich (REM) temperatura ogrzewania powinna być w zakresie 1050 do 1140°C.

Natomiast gdy, wlewki stalowy albo kęsisko zawiera 0,005—0,03% pierwiastków ziem rzadkich temperatura ogrzewania może być nieco wyższa ale nie 30 powinna być wyższa niż 1250°C.

Zgodnie z wynalazkiem wlewki stalowy ogrzewany do powyżej podanej temperatury może być bezpośrednio walcowany na gorąco w arkuszu, albo wlewki stalowy może być przerobiony w kęsisko płaskie przez walcowanie kęsisk albo ciągle odlewanie, po czym kęsisko ogrzewa się do podanej powyżej temperatury i walcuje na gorąco na arkusz o grubości 1,5—3,0 mm.

Uzyskany arkusz walcowany na gorąco jest od 40 razu trawiony a następnie poddawany pierwszemu walcowaniu na zimno, albo jest najpierw poddawany normalizacji w temperaturze 800—1 000°C w czasie 3—15 minut albo wyżarzony w temperaturze 550—850°C, przez co najmniej 30 minut w celu poprawienia tekstury arkusza walcowanego na gorąco albo usunięcia węgla i następnie trawiony i podawany pierwszemu walcowaniu na zimno.

Zgodnie z wynalazkiem, kiedy współczynnik ubytku względnego po pierwszym walcowaniu na zimno jest mniejszy niż 20%, nawet gdy po wyżarzaniu międzyoperacyjnym arkusz posiada duże ziarna krystaliczne, to gotowy produkt uzyskany przez ostateczne walcowanie na zimno i ostateczne wyżarzanie nie ma nieuporządkowaną teksturę i nie ma dobrych 55 własności magnetycznych. Dlatego też współczynnik ubytku względnego po pierwszym walcowaniu na zimno nie może być mniejszy niż 20% i zaleca się aby mieścił się w granicach 40—75% w stosunku do grubości arkusza walcowanego na gorąco współczynnika ubytku względnego po ostatecznym walcowaniu na zimno i ostatecznej grubości arkusza.

Po pierwszym walcowaniu na zimno, arkusz musi być poddany wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w 60 temperaturze 900—1050°C przez okres czasu 3—15 minut w celu spowodowania wzrostu ziarna krystalicznego.

Tabela II

Skład kęsiska, %								
Rodzaj	C	Si	Al	Mn	S	O	REN	Fe i nieistotne zanieczyszczenia
Kęsisko A	0,006	3,21	0,59	0,17	0,004	0,0016	0,08	pozostałość
Kęsisko B	0,006	3,19	0,46	0,18	0,007	0,0029	—	

Tabela IIa

Numer próbki	Współczynnik ubytku względnego po pierwszym walcowaniu na zimno (%)	Wyżarzanie międzyoperacyjne temp.—czas °C—min	Przeciętna wielkość ziarna krystalicznego (mm)	Współczynnik ubytku względnego po drugim walcowaniu na zimno (%)	Wyżarzanie ostateczne temp.—czas °C—min
Kęsisko A1	75,5	950 — 5	0,12	35	970 — 6
2	73,5	— „ —	0,11	40	— „ —
3	68,2	— „ —	0,16	50	— „ —
4	60,2	— „ —	0,15	60	— „ —
5	47,0	— „ —	0,15	70	— „ —
6	36,4	— „ —	0,17	80	— „ —
7	68,2	900 — 5	0,09	50	— „ —
8	75,5	850 — 5	0,03	35	— „ —
9	73,5	— „ —	0,04	40	— „ —
10	68,2	— „ —	0,03	50	— „ —
11	60,2	— „ —	0,05	60	— „ —
12	47,0	— „ —	0,04	70	— „ —
13	36,4	— „ —	0,06	75	— „ —
Kęsisko B14	68,2	950 — 5	0,04	50	— „ —

Tabela IIb

Numer próbki	Własności wyrobu gotowego			Natężenie biegunowe promieniowania odbitego w gotowym wyrobie			
	grubość (mm)	W _{15/80}	B ₉₀	płaszczyzna			
				(222)	(200)	(110)	
Kęsisko A							Próbka porównawcza
1	0,35	2,42	1,66	3,0	0,6	1,1	Próbka według wynalazku
2	„	2,32	1,68	2,4	0,8	1,3	— „ —
3	„	2,08	1,70	2,8	1,6	1,7	— „ —
4	„	2,10	1,69	2,7	2,3	1,4	— „ —
5	„	2,38	1,68	3,1	2,1	1,2	Próbka porównawcza
6	„	2,49	1,66	4,2	2,5	1,3	Próbka według wynalazku
7	„	2,29	1,68	3,5	1,1	1,2	Próbka porównawcza
8	„	2,59	1,63	4,9	0,5	0,4	— „ —
9	„	2,52	1,65	5,4	0,7	0,5	— „ —
10	„	2,41	1,66	7,2	0,6	0,9	— „ —
11	„	2,47	1,66	8,3	1,1	1,0	— „ —
12	„	2,51	1,64	10,9	0,8	0,7	— „ —
13	„	2,60	1,63	12,1	1,0	0,7	— „ —
14	„	2,49	1,66				— „ —
Kęsisko B							

licznych, tworzących arkusz do wielkości ziarn krystalicznych, mających wielkość nie mniejszą niż 0,07 mm.

Powód dla którego parametry wyżarzania międzyoperacyjnego są ograniczone do powyżej podanych warunków będzie wyjaśnione poniżej w powołaniu się na dane doświadczalne.

Stopiona stal rafinowana w komertorze była poddawana obróbce odgazowywującej RH, a potem rozwałcowywanie na kęsisko płaskie. Kęsisko ogrzewano w temperaturze 1200°C i następnie walcowano na gorąco do uzyskania arkusza zwalcowanego na gorąco o grubości 2,0 mm. Arkusz zwalcowany na gorąco wytrawiano do usunięcia zendry i potem obrabiano zgodnie etapami obróbki podanymi poniżej.

Tabela II podaje rodzaj użytych kęsisk, współczynnik ubytku względnego po walcowaniu na zimno, parametry wyżarzania międzyoperacyjnego, przeciętną wielkość ziarna krystalicznego arkusza po wyżarzeniu międzyoperacyjnym, współczynnik ubytku względnego po drugim walcowaniu na zimno, własności magnetyczne gotowego wyrobu oraz natężenie biegunowe odbitych promieni X dla gotowego wyrobu.

Etap obróbki.

Pierwsze walcowanie na zimno — wyżarzanie międzyoperacyjne — drugie walcowanie na zimno (ostateczna grubość 0,35 mm).

— wyżarzanie ostateczne (970°C przez 6 minut).

Z tabeli II widać, że wielkość ziarna w arkuszu po wyżarzeniu międzyoperacyjnym oraz współczynnik ubytku względnego po ostatecznym walcowaniu na zimno mają następujący wpływ na własności magnetyczne gotowego wyrobu. To znaczy w przypadku, gdy arkusz po wyżarzeniu międzyoperacyjnym ma ziarna krystaliczne o wielkości przeciętnej nie mniejszej niż 0,07 mm, to nawet kiedy współczynnik ubytku względnego po ostatecznym walcowaniu na zimno wynoszącym 20—70% natężenie biegunowe w płaszczyźnie (222) gotowego wyrobu nie wzrasta zasadniczo, ale natężenie biegunowe w płaszczyźnie (110) gotowego wyrobu wzrasta ze wzrostem współczynnika ubytku względnego po ostatecznym walcowaniu na zimno i wykazuje maksymalną wartość przy współczynniku ubytku względnego 50—60%, a ponadto wzrasta także natężenie biegunowe w płaszczyźnie (200) gotowego wyrobu, wraz ze wzrostem współczynnika ubytku względnego. W rezultacie, indukcja magnetyczna gotowego wyrobu poprawia się a straty w ferromagnetyku obniżają się.

Natomiast, w przypadku gdzie po wyżarzeniu międzyoperacyjnym w arkuszu występuje ziarno krystaliczne o przeciętnej wielkości mniejszej niż 0,07 mm, to natężenie biegunowe w płaszczyźnie (222) wzrasta wyjątkowo silnie ze wzrostem współczynnika ubytku względnego po ostatecznym walcowaniu na zimno. Natężenie biegunowe w płaszczyźnie (110) wykazuje maksymalną wartość przy współczynniku ubytku względnego 50—60%, ale jest słabe i także słabe jest natężenie biegunowe w płaszczyźnie (200). Dlatego ostateczny wyrób otrzymany z arkusza wyżarzonego międzyoperacyjnie mający ziarna krystaliczne o przeciętnej wielkości

mniejszej niż 0,07 mm jest wyraźnie gorszy jeśli chodzi o własności magnetyczne od wyrobu gotowego otrzymanego z arkusza mającego po wyżarzeniu międzyoperacyjnym ziarno krystaliczne o przeciętnej wielkości większej niż 0,07 mm. To znaczy, że im jest większa przeciętna wielkość ziarna krystalicznego w arkuszu poddanym wyżarzaniu międzyoperacyjnym tym są lepsze własności magnetyczne gotowego wyrobu.

Szczególnie, kiedy wyżarzanie międzyoperacyjne przeprowadza się w temperaturze 930—980°C przez 3—10 minut i wyżarzony międzyoperacyjnie arkusz posiada ziarna krystaliczne mające przeciętną wielkość nie mniejszą niż 0,1 mm, wtedy uzyskuje się najlepsze wyniki.

Czas dla wyżarzania międzyoperacyjnego, który powinien być wybrany zależy od temperatury wyżarzania, im wyższa temperatura, tym krótszy jest czas.

Wyżarzony międzyoperacyjnie arkusz musi być poddany ostatecznemu walcowaniu na zimno na ostateczną grubość przy współczynniku ubytku względnego 45—70% i najlepszy wynik uzyskuje się, kiedy ostateczne walcowanie na zimno przeprowadza się przy współczynniku ubytku względnego 50—65%.

Według wynalazku, wyżarzanie ostateczne przeprowadza się na drodze ciągłego wyżarzania w temperaturze 930—1000°C trwającego dość krótko tj. od 2—15 minut. W efekcie, otrzymuje się gotowy wyrób, arkusz ze stali krzemowej, nie orientowanej, o wysokiej indukcji magnetycznej B_{50} wynoszącej nie mniej niż 1,67 T i stratach w ferromagnetyku nie wyższych niż te, które odpowiadają stopniowi S-9.

Kiedy wyżarzanie ostateczne przeprowadza się w temperaturze niższej niż 930°C dla czasu krótszego niż 2 minuty, wielkość ziarn krystalicznych powstała w gotowym wyrobie jest za mała aby otrzymać zamierzone własności magnetyczne wyrobu.

Natomiast, gdy wyżarzanie ostateczne przeprowadza się w temperaturze wyższej niż 1000°C albo dla czasu dłuższego niż 15 minut, powstaje niekorzystna orientacja ziarn krystalicznych, w gotowym wyrobie i dlatego indukcja magnetyczna gotowego wyrobu jest zbyt niska. Dlatego też ostateczne wyżarzanie musi być przeprowadzone w temperaturze 930—1000°C w czasie 2—15 minut a najlepszy wynik można uzyskać, gdy wyżarzanie ostateczne przeprowadza się w temperaturze 930—980°C w czasie 3—10 minut.

Podane poniżej przykłady przedstawiają wynalazek, ale nie ograniczają jego.

Przykład I. Stopioną stal rafinowaną w konwertorze poddano odgazowaniu przy pomocy urządzenia do odgazowywania systemem RH następnie dodano Mn, Si i stop Al dla wyregulowania składu stali i następnie odlewano w sposób ciągły w celu otrzymania kęsiska. Kęsisko zawierało 0,006% C, 1,8% Si, 0,31% Al, 0,18% Mn, 0,002% S, 0,0020% O i pozostałość stanowiło zasadniczo Fe. Kęsisko ogrzewano w temperaturze 1100°C przez 1 godzinę a następnie walcowano na gorąco na grubość 2,1 mm.

Arkusz otrzymany po walcowaniu na gorąco,

poddawano trawieniu w celu usunięcia zendry z jego powierzchni a następnie walcowano na zimno na grubość 1,1 mm przy współczynniku ubytku względnego 48%, a następnie poddano ciągiem wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w temperaturze 950°C przez 5 minut w atmosferze zawierającej 65% objętościowych H_2 i 35% N_2 oraz mającej temperaturę rosy 5°C w wyniku czego uzyskano wyżarzony arkusz mający ziarno krystaliczne o przeciętnej wielkości 0,19 mm.

Wyżarzony międzyoperacyjnie arkusz walcowano na gorąco na grubość ostateczną 0,50 mm przy współczynniku ubytku względnego 55% a następnie poddawano ciągiem wyżarzaniu ostatecznemu w temperaturze 970°C w czasie 6 minut w atmosferze zawierającej 65% H_2 i 35% N_2 i mającej temperaturę rosy 20°C dla otrzymania gotowego wyrobu.

Pomiary własności magnetycznych wyrobu metodą określoną w normie japońskiej JIS C2550 wykazały, że produkt posiadał $W_{15/50} = 2,75$ W/kg i $B_{50} = 1,75$ T.

Znaczy to, że produkt ten odpowiada gatunkowi S-09 nie orientowanej stali krzemowej.

Przykład II. Stopioną stal rafinowaną w konwertorze poddano odgazowaniu przy pomocy urządzenia odgazowującego systemu RH po czym dodano stop Mn, oraz Si, Al i miszmetal, a następnie odlano z niej wlewki przez zalewanie od dołu pod osłoną z argonu. Wlewki rozwalcowano na kęsisko płaskie. Kęsiska zawierały 0,005% C, 3,20% Si, 0,63% Al, 0,25% Mn, 0,003% S, 0,016% O, 0,007% mieszaniny różnych metali ziem rzadkich w tym 0,003 Ce a resztę stanowi Fe. Kęsisko ogrzewano w 1220°C przez 1 godzinę i następnie walcowano na gorąco do otrzymania arkusza zwalcowanego na gorąco na grubość 2,2 mm.

Arkusz walcowany na gorąco trawiono w celu usunięcia zendry, walcowano na zimno do grubości 1,3 mm przy współczynniku ubytku względnego wynoszącym 41% a następnie poddano ciągiem wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w temperaturze 920°C przez 5 minut w atmosferze zawierającej 65% H_2 i 35% N_2 i mającej temperaturę rosy 5°C w wyniku czego uzyskano wyżarzony arkusz mający ziarna krystaliczne o przeciętnej wielkości 0,12 mm.

Wyżarzony międzyoperacyjnie arkusz poddano drugiemu walcowaniu na zimno przy współczynniku ubytku względnego 62% do otrzymania arkusza walcowanego na zimno mającego ostateczną grubość 0,5 mm a następnie arkusz ten poddano ciągiem, ostatecznemu wyżarzaniu w temperaturze 1000°C przez 6 minut w atmosferze zawierającej 65% H_2 i 35% N_2 i mającej temperaturę rosy 4°C w celu otrzymania gotowego wyrobu.

Pomiary własności magnetycznych gotowego wyrobu zgodnie ze sposobem określonym w japońskiej normie JIS C2550 wykazały, że wyrób ten ma $W_{15/50} = 2,41$ W/kg i $B_{50} = 1,70$ T, które odpowiadają własnościom magnetycznym arkusza ze stali krzemowej nie orientowanej w gatunku S-08.

Przykład III. Stopioną stal rafinowaną w konwertorze poddano odgazowaniu przy pomocy urządzenia odgazowującego, systemu RH a nastę-

pnie dodawano stop Mn, oraz Si i Al, a następnie odlewano w formie wlewek przez zalewanie od dołu w osłonie argonowej. Wlewki stalowy zawierał 0,008% C, 1,95% Si, 2,07% Al, 0,33% Mn, 0,002% S, 0,014% O i pozostałość stanowi zasadniczo Fe.

Wlewki stalowy walcowano na kęsisko płaskie i następnie kęsisko ogrzewano w temperaturze 1090°C przez 1 godzinę, po czym walcowano na gorąco do uzyskania gorącego kręgu o grubości 1,8 mm. Gorący krąg poddawano wyżarzaniu odwęglającemu o temperaturze 650°C przez 5 godzin w powietrzu, trawiono w celu usunięcia zendry a następnie walcowano na zimno przy współczynniku ubytku względnego 53% w celu otrzymania arkusza o grubości 0,85 mm.

Arkusz następnie poddano ciągiem wyżarzaniu międzyoperacyjnemu w temperaturze 930°C przez 5 minut w atmosferze zawierającej 65% H_2 i 35% N_2 i mającej temperaturę rosy 5°C w celu uzyskania wyżarzonego międzyoperacyjnie arkusza, a ziarno krystalicznym mającym przeciętną wielkość 0,15 mm.

Wyżarzony międzyoperacyjnie arkusz poddano drugiemu walcowaniu na zimno przy współczynniku ubytku względnego 59% w celu uzyskania arkusza zwalcowanego na zimno do ostatecznej grubości 0,35 mm i po czym poddawano go ciągiem wyżarzaniu ostatecznemu w temperaturze 980°C przez 6 minut w atmosferze zawierającej 65% H_2 i 35% N_2 i mającej temperaturę rosy -2°C w celu otrzymania gotowego wyrobu.

Pomiary własności magnetycznych wyrobu przeprowadzone według sposobu zdefiniowanego w normie japońskiej JISC 2550 pokazały, że produkt gotowy ma $W_{15/50} = 1,92$ W/kg i $B_{50} = 1,69$ T.

Oznacza to, że wyrób ma doskonałe własności magnetyczne odpowiadające gatunkowi S-7 nie orientowanej stali krzemowej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania arkuszy ze stali krzemowej nie orientowanej, o wysokiej indukcji magnetycznej i o niskich stratach w ferromagnetyku, w którym wlewki stalowy lub kęsisko stalowe zawierający nie więcej niż 0,02% C, 1,6—3,5% Si, 0,2—2,5% Al, 0,1—1,0% Mn, nie więcej niż 0,005% S, nie więcej niż 0,025% O i resztę stanowi zasadniczo Fe, walcuje się na gorąco, przy czym arkusz walcowany na gorąco najpierw poddaje się walcowaniu na zimno przy ubytku względnym nie mniejszym niż 20% dla otrzymania arkusza walcowanego na zimno o grubości pośredniej, następnie arkusz ten poddaje się wyżarzaniu międzyoperacyjnemu, po czym arkusz wyżarzony międzyoperacyjnie poddaje się drugiemu walcowaniu na zimno przy ubytku względnym od 45 do 70% dla otrzymania arkusza walcowanego na zimno o ostatecznej grubości i tak rozwalcowany arkusz na zimno poddaje się ostatecznemu wyżarzaniu w temperaturze od 930°C do 1000°C w czasie od 2 do 15 minut, znamienny tym, że przeprowadza się wyżarzanie międzyoperacyjnie w temperaturze od 900°C do 1050°C w czasie od 3 do 15 minut.

2. Sposób według zastrz. 1, znamienny tym, że

stosuje się wlewki stalowe lub kęsisko stalowe zawierające nie więcej niż 0,004% S.

3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że stosuje się wlewki stalowe albo kęsisko stalowe zawierające dodatkowo 0,005—0,03% pierwiastków ziem rzadkich.

4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przeprowadza się pierwsze walcowanie na zimno przy współczynniku ubytku względnego wynoszącym 40—75%, a następnie przeprowadza się wyża-

zanie międzyoperacyjne w temperaturze 920—980°C w czasie 4—8 minut.

5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przeprowadza się drugie walcowanie na zimno przy współczynniku ubytku względnego wynoszącym 50—65%.

6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ostateczne wyżarzanie w sposób ciągły przeprowadza się w temperaturze 930—980°C w czasie 3—10 minut.